Niveau(x) d'enseignement: 4 Numéro EDUQ : 8970688
Centre d'intérêt: 846

Introduction à la science de l'informatique, ISI 111-434, 111-534 : la résolution de problèmes dans ISI / Direction générale des programmes, Direction de la formation générale. -- [Québec] : Ministère de l'éducation, c1989.

84 p. ; 28 cm. -- (Document d'information / Ministère de l'éducation du Québec, Direction générale des programmes)

Code: 16-0081-05 ; 8990-693. Bibliogr.: p. 79-84.

ISBN 2-550-14916-5

Vedette(s)-secondaire(s): Québec (Province). Ministère de l'éducation. Direction de la formation générale

---

Descripteur(s): Résolution de problème • Application pédagogique de l'ordinateur • Initiation à l'informatique • Programmation • Secondaire (Ordre d'enseignement)

Identificateur(s) de sujet: Introduction à la science informatique (111-434, 111-534)

Le document comprend deux parties. La première commente les onze principaux éléments de la résolution de problèmes associés à l'informatique et à l'intelligence artificielle. Ces éléments sont: 1. la logique; 2. la représentation de la connaissance; 3. les concepts et la conceptualisation; 4. le langage naturel; 5. les types d'approches; 6. les étapes de la résolution de problèmes; 7. les réquisits; 8. les outils complémentaires; 9. les domaines de connaissances; 10. les paradigmes, les langages et la programmation; 11. la notion de système. La seconde partie souligne d'abord la place de la résolution de problème dans l'enseignement puis donne quelques exemples d'utilisation de l'informatique pour réaliser des projets d'élèves. On propose enfin quelques réflexions sur l'apport de la programmation.

Type de document: d
Notice(s) connexe(s): 8770660, 8870368

8970688

DOCUMENT D'INFORMATION

INTRODUCTION À LA SCIENCE DE L'INFORMATIQUE ISI 111-434, 111-534 LA RÉSOLUTION DE PROBLÈMES DANS ISI

Québec

INTRODUCTION À LA SCIENCE DE L'INFORMATIQUE ISI 111-434, 111-534 LA RÉSOLUTION DE PROBLÈMES DANS ISI

Direction générale des programmes
Direction de la formation générale

© Gouvernement du Québec
Ministère de l'Éducation, 1989

ISBN 2-550-14916-5

Dépôt légal — quatrième trimestre 1989
Bibliothèque nationale du Québec

TABLE DES MATIÈRES

0. PRÉSENTATION 1

1. INTRODUCTION 5

2. LES PRINCIPAUX ÉLÉMENTS DE LA RÉSOLUTION DE PROBLÈMES 15

2.1 La logique 15

2.2 La représentation de la connaissance: les types 16

2.3 Les concepts et la conceptualisation 19

2.4 Le langage ou la langue naturelle 20

2.5 Les types d'approches 21

2.6 Les étapes possibles de la résolution de problèmes 24

2.7 Les réquisits pour résoudre des problèmes 26

2.8 Les réquisits de base 28

2.9 Les domaines de connaissances 30

2.10 Paradigmes, langages et programmation 32

2.11 La notion de système 34

2.11.1 Un système pour résoudre des problèmes 39

2.11.2 Sujets complémentaires 42

2.12 Constat 43

3. L'APPLICATION À LA CHOSE SCOLAIRE 47

3.1 Une définition de travail de la résolution de problèmes 49

3.2 Des illustrations 53

3.2.1 À vous de jouer

Introduction à la science de l'informatique 54

3.2.2 Projets et programmes

Introduction à la science de l'informatique 57

3.2.3 La programmation structurée en BASIC 61

3.3 L'apport de l'informatique aux pratiques de l'esprit 64

3.3.1 La programmation 64

3.3.2 L'automatisation 67

3.3.3 L'effort et la persistance 69

3.3.4 Les autres disciplines 70

3.3.5 L'avenir 71

4. CONCLUSION 77

BIBLIOGRAPHIE 79

LA RÉSOLUTION DE PROBLÈMES DANS ISI

BERTRAND A. MORIN
MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION
GOUVERNEMENT DU QUÉBEC

The hardest thing to understand is
why we can understand at all.

Albert Einstein (1879-1955)

0. PRÉSENTATION

Le programme Introduction à la science de l'informatique (ISI) a été introduit dans le milieu scolaire en 1982; dès ce moment, il était prévu que celui-ci serait appuyé par un guide pédagogique modulaire formé d'un ensemble de documents: un document traiterait de l'analyse du problème à résoudre à partir d'une approche qui éviterait le formalisme du codage dans un premier temps; un document traiterait du projet d'élèves dans un contexte pédagogico-informatique; un autre traiterait de l'évaluation en utilisant l'idée du contrat sur les projets. Depuis, ces documents ont été publiés et diffusés dans le milieu scolaire.

Un autre document était prévu, il devait traiter de la résolution de problèmes selon un point de vue informatique. C'est maintenant chose presque faite, car le présent document se veut une réponse partielle à ce besoin. Il s'est écoulé un certain temps entre la parution de chacun des documents constituant ISI. Il faut avouer que cette répartition était planifiée pour favoriser une implantation qui respecte le programme lui-même, et qui permette également une prise en charge du programme par les enseignants. Nous voulions éviter de canaliser

trop étroitement dès le début de l'implantation d'ISI les objets, les objectifs, les suggestions, les méthodes, en somme le contenu même du programme. Bien que planifiée, la répartition a été victime de retards imputables à diverses sources: restrictions des moyens de tous ordres, modifications aux structures administratives, délais dans le processus de publication, difficultés dans la rédaction même de certains documents, etc.

Le dernier document traite donc de la résolution de problèmes dans ISI, ce qui signifie qu'elle fait l'objet d'un traitement en rapport avec le domaine de l'informatique moderne. Le contenu est accessible à tous, bien que difficile et exigeant. Dans le paragraphe précédent, nous avons mentionné qu'il s'agit d'une partie de la réponse finale; en effet, un complément formé d'authentiques projets d'élèves est prévu et devrait paraître à la suite de celui-ci. Nous expliquons ce choix ailleurs dans le document.

J'ose espérer que ce document sera utile pour l'enseignement de la science informatique et qu'il contribuera à une formation de qualité des élèves.

Bertrand A. Morin

I

INTRODUCTION

1. INTRODUCTION

La résolution de problèmes est un sujet qui revient maintes fois dans la littérature concernant le domaine de l'éducation, et de plus en plus fréquemment ces dernières années. Bien que les hypothèses pour expliquer cette augmentation ne soient pas démontrables, il est possible d'avancer trois explications, qui considérées ensemble, nous aiderons à comprendre pourquoi.

La première explication réside dans le fait que les efforts nombreux et importants de la recherche en éducation, en psychologie et en pédagogie depuis les années cinquante ont permis d'analyser toutes les facettes susceptibles d'avoir un impact sur les choses scolaires et de l'esprit, notamment les méthodes d'apprentissage et les mécanismes de la connaissance. À la suite des investissements massifs dans la recherche qui a lieu durant la période la guerre et de l'après-guerre — c'est à ce moment que la psychologie moderne prendra son élan[1] — de nombreux programmes de recherche fondamentale et de recherche appliquée voient le jour; bien que les objets de ces recherches ne soient plus une priorité de nature «militaire», des vagues et des courants centraux découlant de activités permettent l'exploration de tout, ou presque, ce qui peut éclairer le fonctionnement de l'être humain, et entre autres bien sûr, sa façon d'apprendre. Un des courants centraux de ces recheches étudie les comportements humains et leurs modifications; le béhaviorisme apparaît et donne naissance, pour ainsi dire, au discours et à la «pratique des objectifs» avec lesquels nous vivons depuis plusieurs années. Ce courant a également permis l'étude de diverses manières d'introduire dans le cadre de l'enseignement des disciplines des méthodes d'apprentissage plus efficaces. L'évaluation de toute la «zone scolaire» devenait par le fait même une priorité; en conséquence, elle était aussi une raison par laquelle, rétroactivement, on pouvait expérimenter toute une variété d'actions pédagogiques auprès des élèves.

Ceci indique que la résolution de problèmes devait être l'objet d'analyse, que ce soit directement ou par le biais de sujets connexes comme «les situations d'apprentissage».[2] Or, si l'on trouve des textes consacrés à cette question dans presque toutes les publications importantes sur les pratiques pédagogiques, il reste que le sujet demeure souvent vague, imprécis et traité différemment d'un contexte à l'autre. Il s'agit peut-être d'une situation

---

[1] De façon analogue, les chercheurs en intelligence artificielle trouveront une source majeure de financement pour la recherche et le développement dans le domaine militaire.

[2] À ce titre, il est intéressant de noter que deux fascicules (K et L) du Guide pédagogique en mathématique au primaire portent spécifiquement sur la résolution de problèmes et sur la planification de situations d'apprentissage.

inévitable; en dépit des efforts faits et des connaissances acquises depuis plusieurs années, la situation est insatisfaisante. Il faut donc faire davantage et c'est que nous nous tenterons de faire (pour l'informatique) dans ce document .

La seconde explication repose sur l'existences des reproches sévères faites à l'égard de l'école et des autres établissements d'enseignement qui obligent, depuis une dizaine d'années, les intervenants de ces millieux à agir de façon à chercher des réponses à certaines critiques et questions posées.[1] Qu'elles soient ou non fondées, ces dernières ont pour conséquences d'amener les chercheurs, les administrateurs, les enseignants à explorer des avenues qui seraient porteuses de réponses et de solutions. Dans un tel contexte, il est naturel que la résolution de problèmes soit utilisée pour apporter des lumières sur l'apprentissage; de plus, la résolution de problèmes est en soi et en dehors de toute pression externe un concept qui de toute façon mérite d'être analysé. Dans le passé, l'approche retenue pour étudier la question devait permettre des résultats mitigés, insatisfaisants et quelquefois contradictoires qui nous ont cependant permis d'apprendre; n'est-ce pas là le propre de la science.

Finalement, c'est au début des années 60 que le déclencheur de la ferveur pour l'étude de la résolution de problèmes apparaît; en effet, avec la diminution des crédits affectés aux efforts de guerre et avec les propos changeant sur la «façon de faire» en éducation, que ce soit en recherche ou dans la pédagogie de la classe, la société est prête pour envisager quelque chose de différent. L'intelligence artificielle fait son apparition, et elle est entrainée dans le sillon de la traduction automatique (il faut savoir ce que les soviétiques disent...), de la technologie moderne (il faut modifier profondément les chaînes de montage et les autres méthodes de production — les asiatiques s'en viennent ! — pour accroître la rentabilité économique), du visage humain de la société qu'il faut mettre en évidence (la médecine doit faire des prodiges). Il faut ajouter que l'intelligence artificielle devait également permettre une valorisation nouvelle de l'activité éducative (pour toutes sortes de raisons).

L'intelligence artificielle, IA, est née du désir de simuler le fonctionnement humain; les efforts du début portèrent surtout sur l'imitation des fonctions humaines, par exemple la marche. La tâche implique d'abord l'analyse des mécanismes en question, et ensuite la mise au point d'une machine, le robot, qui réussit à les reproduire et à faire aussi bien que...; il faut dire que des machines mécanisées et informatisées, dans une mesure grandissante, font très bien. Quand les fonctions humaines étudiées furent celles associées au cerveau et à la pensée, les difficultés commencèrent à se faire plus évidentes. La difficulté de la re-

---

[1] On lira à ce sujet le rapport annuel 1987-1988 du Conseil supérieur de l'Éducation intitulé LE RAPPORT PARENT, VINGT-CINQ ANS APRÈS.

production du fonctionnement de la pensée poursuivit une courbe exponentielle et causa dans une certaine mesure l'éclatement des premiers plans de recherche en IA. Il devint évident que les actions de recherche et de développement devaient être réorientées et ouvertes à de nouvelles méthodes; il fallait faire place à de nouvelles approches de travail, y compris la prospective, ce qui amena les chercheurs en IA à se pencher sérieusement sur de nouveaux paradigmes et sur de nouveaux domaines d'étude.

Les impacts de la première vague de l'IA ne doivent pas être minimisés; au contraire, cette somme d'efforts a indiqué que des connaissances acquises pouvaient être certifiées, corrigées, mises en doute et, dans certains cas, carrément abandonnées. Cette vague, par ses recherches, a aussi permis de constater que la modélisation de l'humain était beaucoup plus complexe qu'anticipée, même quand on prévoit une grande complexité dès le début. Elle a retenu comme fondamentale l'étude de la connaissance humaine et en a fait un facteur central de son champ d'activité. C'est ainsi que depuis quelques années, la recherche en IA porte principalement sur l'étude de la cognition, ce qui a donné naissance à une nouvelle science — le cognitivisme. Ceci est d'autant plus intéressant que l'IA et l'informatique sont aussi considérées comme des sciences à part entière et distinctes des disciplines traditionnelles dont elles sont issues. Nous sommes donc actuellement dans une seconde vague de développement; même si l'appellation «intelligence artificielle» demeure, son sens s'en trouve sensiblement modifié, ainsi que ses applications. Il est moins question d'imitation pour remplacer, et davantage question de compréhension pour de mieux résoudre les problèmes de la connaissance.

Le programme «Introduction à la science de l'informatique», aussi appelé «ISI», comporte des éléments précis et particuliers qui le distingue des autres programmes; parmis ses lignes de forces, mentionnons:

1. la résolution de problèmes;
2. l'acquisition de processus intellectuels;
3. l'acquisition de méthodes, de règles et de techniques relatives à l'apprentissage;
4. l'exercice de nombreuses heuristiques;
5. le développement d'habiletés algorithmiques;
6. le traitement de l'information;
7. la création de nouveaux instruments et moyens de résolution de problèmes;

8. la multidisciplinarité du domaine d'application de cette science informatique;
9. l'apprentissage par la pratique et la simulation;
10. l'amalgame de la théorie informatique et de sa pratique.

Le contexte pédagogique sous-tendant le programme est fondé, entre autres, sur les projets des élèves, sur l'autonomie de ces derniers dans la collaboration avec l'enseignant et l'enseignante, et sur une pratique s'appuyant sur un mode de pensée caractérisant la science, appliqué à la science de l'informatique. Il y a donc dans ce programme une base propice à une approche fondée sur la résolution de problèmes.[1] Et c'est sur cette base que nous tenterons de construire une compréhension de la résolution de problèmes appliquée au programme ISI.

Si nous nous limitons au contexte du programme ISI, il est d'ores et déjà possible d'affirmer trois choses:

> 1. La résolution de problèmes comme concept — faisons abstraction pour le moment de la ou des définitions que nous pourrions retenir — repose sur deux suppositions de travail: 1) l'existence d'une solution et 2) l'application d'un processus qui y mène.
>
> 2. Si un cheminement de résolution de problèmes s'enclenche chez les élèves, c'est que nécessairement il y a bel et bien eu chez ces derniers une prise de conscience face à l'existence même [...] d'une situation posant problème; en d'autres termes, pas de motivation, pas d'apprentissage. Ou encore que les problèmes des autres ne sont pas nécessairement des problèmes pour les élèves.
>
> 3. La résolution de problèmes en classes, i.e. dans un environnement scolaire, doit être spécifique à ce milieu; il y a donc un sérieux lien avec la didactique de la science informatique à établir.[2]

---

[1] Bien que l'expression ne soit pas totalement satisfaisante à ce stade du document, nous avons convenu de l'utiliser; nous en préciserons le sens, ainsi que le domaine d'application, au fur et à mesure que nous avancerons dans ce document.

[2] Cité dans les Actes du COLLOQUE FRANCOPHONE SUR LA DIDACTIQUE DE L'INFORMATIQUE, tenu à l'Université René Descartes, PARIS, les 1, 2 et 3 septembre 1988. Cette citation est extraite d'un texte publié dans un document intitulé Actes du séminaire restreint franco-québécois de Sèvres, 13–15 juin 1984: L'enseignement de l'informatique dans l'enseignement du second degré. Centre pour la Coopération Québécoise, C.I.E.P., Sèvres, 1985. Ceci montre que la préoccupation concernant la résolution de problèmes est ancrée dans le temps.

Ces affirmations sont toujours d'actualité, probablement plus aujourd'hui; en effet, des changements qui ont lieu dans l'enseignement de l'informatique nous portent à croire qu'une résistance devra se mettre en place face aux risques d'éclatement de cet enseignement et à l'usage abusif de certains logiciels, en particulier ceux qui servent de «prétextes à l'introduction d'un outil informatique», alors qu'il s'agit en réalité d'une «introduction d'un guide d'utilisation technique...». Dans le programme ISI, le même problème se pose: doit-on utiliser des logiciels (plus spécifiquement des langages de programmation) pour «faire» ou enseigner tout simplement le langage? Doit-on enseigner le langage LOGO ou enseigner comment l'utiliser pour résoudre des problèmes, c'est-à-dire, apprendre? Est-ce que le programme ISI doit demeurer un programme optionnel, ou devenir un programme obligatoire —tout militerait en faveur de ce changement— ou tout simplement être absorbé par d'autres matières et éventuellement disparaître?[1]

La situation est encore plus difficile quand on tient compte du problème que pose la motivation des élèves; dans une classe, tous les élèves ne réagissent pas de la même manière aux problèmes qui sont leur posés, soit à cause de leur formation, de leurs champs intérêt, de leurs goûts et de leurs capacité, soit parce que l'enseignement auquel ils sont soumis habitue peu à l'effort et aux activités qui demandent beaucoup de temps — on se limite généralement à des efforts de 5, 10, 15 minutes. ISI, c'est une façon de penser, une manière de représenter la connaissance et de s'exprimer qui exclut la voie de la facilité.

Le présent document vient donc s'ajouter aux autres déjà élaborés qui définissent le programme ISI.[2] Il présente un point de vue nouveau pour la compréhension de la résolution de problèmes et un point de vue complémentaire fondé sur la science informatique et sur les apports de l'intelligence artificielle appliquée au cognitivisme.

Remarque 1

L'approche retenu dans ce document présente une caractéristique que le lecteur devra garder constamment à l'esprit ; la nature particulière du sujet et le fait que la résolution de problèmes est une préoccupation plutôt récente incitent à opter pour un discours oscillant entre une présentation presque formelle et théorique du contenu traité et une présentation scolaire à l'intention de responsables de l'enseignement d'ISI.[3] Cette oscillation veut favoriser l'atteinte de deux cibles: la première est une meilleure compréhension de la résolution

---

[1] À ce sujet, voir le numéro 50 de Bip-Bip, pp. 34 à 38.

[2] Voir la bibliographie

[3] Le lecteur trouvera à la Section 3.2, sous la rubrique «Des Illustrations», un traitement plus complet de cette question et du choix fait.

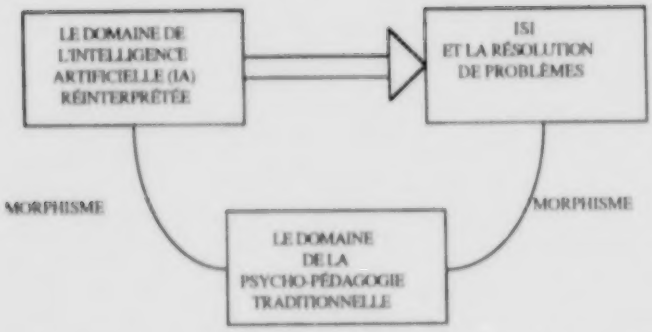
de problèmes dans le cadre de l'enseignement de la science informatique (d'où l'aspect plus formel et théorique), la seconde est le tracé d'une piste pour faciliter l'introduction et l'intégration de «cet esprit» dans la classe même (d'où le style plus didactique).

En d'autres termes, ceux et celles qui voudraient y trouver une liste de recettes seront désapointés; par contre, si on désire mieux comprendre comment faire la cuisine, alors les chances d'y trouver de l'information utile sont meilleures!

Remarque 2

Le lecteur devra garder aussi à l'esprit une image qui résume le plan et la présentation du contenu de ce document d'information pour des raisons diverses: le sujet est difficile, très difficile; un objectif est d'amener le lecteur dans des types de discours qui dépassent à l'occasion le ton de documents pédagogiques analogues (nous tenons le pari que les lecteurs sont capables de telles compréhensions) et qu'il en retiendra des éléments; il y a une stratégie de préparation, laquelle tient compte du facteur «temps», face à l'évolution de la science informatique et des besoins futurs des utilisateurs (enseignants et élèves); et qu'il est socialement et pédagogiquement nécessaire d'introduire ces concepts dans l'école, même si ceci constitue une approche exigeante et parmi les plus difficiles actuellement.

Le diagramme montre que le traitement de la résolution de problèmes adopté pour le besoin du programme ISI emprunte directement au domaine de l'intelligence artificielle (l'informatique contemporaine); il montre également que les concepts appropriés utilisés dans le cadre de la résolution de problèmes s'appuyant sur la psycho-pédagogie traditionnelle sont encore valables et que le transfert entre les deux contextes est possible dans plusieurs situations. Le vocabulaire est distinct, plusieurs concepts sont nouveaux, des approches sont traitées différemment et des façons de voir apparaissent pour la première fois. Cependant, le lecteur devrait reconnaître plusieurs objets qui se déplacent d'un cadre à l'autre; nous avons voulu tenir un discours fortement teinté par le domaine de l'informatique, avec les conséquences que ce choix implique.



Ce diagramme amène un commentaire: Si les principes de base de la psychologie cognitive contemporaine sont des tentatives d'explication du processus cognitif et des règles qui en découlent, alors ces dernières sont des balises didactiques pour l'enseignement et l'apprentissage de la science informatique.

II

LES PRINCIPAUX ÉLÉMENTS DE LA RÉSOLUTION DE PROBLÈMES

2. LES PRINCIPAUX ÉLÉMENTS DE LA RÉSOLUTION DE PROBLÈMES

Il existe un ensemble diversifié de sujets qui sont en relation avec le sujet principal; certains constituent des éléments qui définissent, d'une certaine manière, la résolution de problèmes. Notre intention est de décrire succinctement ceux de ces éléments qui sont associés à la science informatique et à l'intelligence artificielle. Dans le cas des éléments déjà connus ou bien documentés ailleurs, le lecteur pourra entreprendre sa propre démarche complémentaire. Encore une fois, on retrouvera dans la bibliographie des ouvrages capables d'aider le lecteur dans sa compréhension des concepts.

Parmis les principaux éléments, mentionnons:

1. La logique;
2. La représentation de la connaissance;
3. Les concepts et la conceptualisation;
4. Le langage naturel;
5. Les types d'approches;
6. Les étapes possibles de la résolution de problèmes;
7. Les réquisits;
8. Les outils complémentaires;
9. Les domaines de connaissances;
10. L'idée de système;

et le dernier, dont la nature est particulière,

11. Il reste des problèmes à résoudre...

Maintenant, prenons le temps de décrire et d'expliquer davantage chacun de ces éléments; que le lecteur se rassure car nous ne ferons que donner suffisamment d'informations pour qu'il lui soit possible de voir et de comprendre la plage de travail et de réflexion sous analyse. En effet, il n'est pas certain qu'une synthèse fonctionnelle et réaliste — et qui soit simple — puisse être faite pour le monde de l'éducation. L'objectif est, dans un certain sens, d'amener le lecteur à saisir un premier niveau de la réalité sous étude, et non de produire un traité sur la matière.

2.1 La logique

La logique constitue le premier élément dont il faut tenir compte; la logique du premier ordre, c'est-à-dire, la logique que l'on utilise dans notre «pensée de tous les jours», doit nécessairement faire partie de toute démarche d'enseignement et toute démarche d'apprentissage de la connaissance, peu importe les disciplines et les méthodes utilisées. Habituellement, il peut y avoir en plus de cette logique naturelle qui est également prise en

charge par une ou l'autre des logiques formelles, des écarts possibles entre les diverses lois et règles que la discipline elle-même viendra traiter. Ainsi, en mathématiques, il existe des formes logiques qui permettent de traiter plus particulièrement des situations mathématiques; il en est de même en physique, en linguistique, et naturellement en philosophie. Bien sûr, nous trouverons quelques spécificités informatiques, mais généralement, il sera suffisant pour l'enseignement secondaire de prendre en compte un ensemble adéquat de la logique du premier ordre et son équivalent en logique mathématique.[1]

Il faut apprendre comment appliquer les *et, ou, non, si... alors... ,le modus ponens* (tout simplement le raisonnement déductif simple: «si A implique B» est vrai, et que «A» est aussi vrai, alors il faut conclure que «B» est également vrai.) sur des propositions ou des énoncés. On ne peut pas apprendre correctement en pensant «tout croche»; il faut donc s'astreindre à une rigueur minimale — sans qu'il soit besoin de se faire logicien — dans notre manière de traiter la réalité et la connaissance. La logique fournit un cadre de travail qui favorise un langage unique pour quiconque veut comprendre notre univers; elle assure que les échanges et les communications seront décodables et qu'ils permettront des schèmes menant à une meilleure connaissance de l'univers.

2.2 La représentation de la connaissance: les types

Cet élément constitue probablement un des apports majeurs de l'informatique et de l'intelligence artificielle à l'étude de la cognition et de la résolution de problèmes; la connaissance, ou plus exactement les connaissances, est l'objet premier qui nous intéresse quand il s'agit d'apprendre. La connaissances est à la fois l'objet et la résultante d'analyses de la part de l'humain; afin de rendre plus claire notre coception de la représentation de la connaissance, il est nécessaire de classifier les connaissances. La classification suivante est intéressante parce qu'elle s'intègre bien dans le domaine de la science informatique.[2] Elle comporte huit types de connaissances:

---

[1] L'expression «logique mathématique» — ou logique formelle — n'est pas une expression rébarbative; cette logique peut revêtir une robe purement abstraite comme elle peut aussi se faire simple et se confondre au raisonnement juste de tous citoyens. C'est justement parce qu'elle est formelle, et qu'elle s'élève au-dessus des particularismes, que la logique mathématique est applicable à n'importe quelle situation, en particulier à notre façon de penser et de raisonner.

[2] Adaptation et simplification d'un regroupement que l'on retrouvera dans : INTELLIGENCE ARTIFICIELLE: Résolution de problèmes par l'Homme et la machine, par Jean-Louis LAURIÈRE.

1. *Les éléments de base, les faits et les objets du monde réel.* Ils sont habituellement liés à une perception immédiate et première, et ils sont rarement l'objet de remise en question; ils sont considérés si naturellement qu'on les ajoute régulièrement à toutes les autres connaissances du même type.

2. *Les assertions et les définitions.* Elles portent sur les éléments de base cités en 1. et elles sont a priori admises commes sûres et valables; ce sont des connaissances que l'on se donne pour commencer à travailler, des prémisses fiables.

3. *Les concepts.* Ce sont des généralisations des objets de base et des créations d'individus ou d'ensembles de connaissances sur lesquelles et à-propos desquelles nous pouvons construire des connaissances plus complexes. (Cf. 2.3. page 19)

4. *Les relations et les fonctions.* Elles concernent des propriétés élémentaires et des liens des éléments de base et des types de connaissances énumérés plus haut; l'usage de la logique à ce stade commence à produire de nouvelles connaissances, directement et indirectement. La notion de système et de complexe commence à prendre naissance avec cette famille de connaissances.

5. *Les théorèmes et les règles de réécriture.* Dans ce type de connaissances, la logique s'inscrit de plain-pied et entraîne le concept de déduction certaine ou robuste; ces connaissances permettent la création de nouvelles connaissances et l'identification d'autres connaissances qui échappaient jusqu'alors à notre perception et à notre univers de connaissances. Il s'agit en somme de toute la «combinatoire» appliquée aux connaissances que nous traitons.

6. *Les algorithmes (de résolution de problèmes).* Ce sont des connaissances indispensables pour l'acquisition de connaissances; ils sont, soit appris et compris, soit utilisés automatiquement. Dans un cas comme dans l'autre, les algorithmes sont des moyens puissants, mais souvent simples, qui conduisent automatiquement à une solution ou une nouvelle connaissance. Il est nécessaire d'avoir à sa disposition ce type de connaissances économiques, efficaces et non redondantes.

7. *Les heuristiques et les stratégies (de résolution de problèmes).*[1] Ce sont des règles sur des façons de faire, innées ou acquises par expérience, qui permettent d'enclencher un processus d'actions à entreprendre dans certaines situations. Les heuristiques sont ces situations privilégiées où un cheminement menant à une solution apparaît tout à coup ou... presque; les meilleures heuristiques sont souvent obtenues à la suite d'une bonne

---

[1] Nous parlons d'heuristiques au pluriel parce que cet usage réflète la réalité; nous connaissons mal *le processus* heuristique, il existe *plusieurs* processus et ce sont effectivement *des heuristiques* que nous utilisons, heuristiques variables en fonction des contextes d'utilisation et des disciplines.

expérience dans un domaine donné ou à la suite de plusieurs expériences ayant une connexité. Elles sont de la forme: «Dans le passé, j'ai eu un cas analogue où, ayant posé tel geste, la solution du problème avait été ainsi...; voici un nouveau cas où je veux tel résultat, il suffirait de poser tel geste pour l'obtenir.».

8. *La méta-connaissance*. La méta-connaissance est ce point de vue particulier duquel on examine les connaissances en soi afin de mieux comprendre, donc de mieux connaître, la connaissance. C'est pour ainsi dire l'étude de la connaissance. Ce regard vu-d'en-haut constitue un type de connaissance particulièrement important au niveau de la réflexion fondamentale et de la recherche; cependant, il peut avoir un impact majeur dans l'apprentissage car il incite à une évaluation du processus d'enseignement et d'apprentissage, ainsi que de la validité du travail effectué par l'élève et par le maître.

Ces huit types de connaissances présentent une gradation reconnaissable selon une classification différente: les trois premiers (1, 2, 3) réfèrent à des paliers d'abstraction, le quatrième (4) s'adresse à un niveau impliquant nécessairement des transformations de connaissances, les trois suivants (5, 6, 7) concernent la méthodologie, alors que le huitième type (8) —la méta-connaissance— est de l'ordre épistémologique.

Commentaire

Il faut distinguer dès maintenant la représentation de la connaissance de la représentation mentale du problème; si la représentation mentale est «l'idée qu'il (l'élève) se fait en lisant l'énoncé et en manipulant le matériel»[1], nous sommes alors dans un contexte qui est restreint au problème présenté à l'élève; le champ est limité. La représentation de la connaissance, elle, concerne un univers qui n'est ni focalisé ni limité à une situation particulière; au contraire, elle ne présume de rien quant à l'existence d'un problème, ni quant à des schèmes propres à un individu ou à un autre. Cependant, la représentation de la connaissance et la représentation mentale du problème ont en commun, entre autres, l'idée d'étapes (la présence de bornes repérables) et de phases (des cycles), de variance (il y a des nuances et des différences quant aux connaissances et aux «apprenants»), de non-unicité (la connaissance peut prendre diverses formes — graphique, numérique, verbale — ou plusieurs modes de représentation — mentale, physique— chez une même personne ou chez des personnes différentes), et l'idée de rétroaction additive (d'un concept à l'autre, d'une situation à l'autre, d'un problème à l'autre, la représentation que l'on se fait est plus

---

[1]Guide pédagogique, Primaire, Mathématique, Fascicule K, Résolution de problèmes, Ministère de l'Éducation, Direction générale des programmes, Québec, 1988, Document 16-2300-11, pages 38-39.

riche et potentiellement plus juste). Nous reviendrons plus loin sur les problèmes et les applications en informatique.

2.3 Les concepts et la conceptualisation

La conceptualisation et le concept sont des éléments fondamentaux et omniprésents lorsqu'il est question de résolution de problèmes; ce sont des éléments qui sont indissociables de la représentation de la connaissance et des domaines de connaissances (nous préciserons plus loin le sens de ces deux expressions), et qui sont proches des éléments énumérés précédemment. Un concept est la résultante d'une entreprise mentale par laquelle, en examinant le réel, on reconnaît que certains objets sont distincts des autres ou que certains se ressemblent d'une manière particulière. La conceptualisation est un processus psychologique, imparfaitement connu observable toutefois par ses résultats, par lequel nous acquérons des connaissances et des concepts. Les deux notions sont proches mais elles sont sont distinctes. Ce qui permet de distinguer les objets, ce sont finalement les attributs ou les qualités qu'ils possèdent et qu'on peut reconnaître. Le groupement de certaines qualités que l'on applique au réel autorise la constitution d'ensembles qui seuls possèdent ces qualités; chacun des ensembles ainsi créés devient un concept. Et tout objet de cet ensemble, voire un ensemble-objet, a les qualités de tous les membre ou éléments de cet ensemble.

Voici une définition simple du ***concept***: ***un mot ou une idée qui représente une classe d'objets ou d'événements***. La ***conceptualisation***, par ailleurs, est ***un processus de classification de l'information en des classes ou en des catégories signifiantes***. Une des façons élémentaires d'élaborer des concepts passe par l'identification d'instances positives et d'instances négatives — les exemples et les non-exemples; les individus ou les éléments positifs servent de base à la définition d'un concept, alors que les individus ou les éléments négatifs n'appartiennent pas à ce concept, bien qu'ils puissent aider à mieux le comprendre. Les objets sont des entités matérielles que les sens (vue, odorat, toucher, goûter, ouie) permettent de reconnaître. Mais les objets ne sont pas nécessairement matériels; ils peuvent être des objets de l'esprit, des abstractions (une équation du 4ième degré, une particule élémentaire en physique comme le quark, la masse d'un atome, la beauté, etc.). Ainsi, une école de pensée n'admet pas, par exemple, que la licorne soit un concept, parce que celle-ci n'a jamais existé. Tout cependant n'est pas simple.[1]

---

[1] Il semblera à certains lecteurs que ce discours ressemble étrangement au discours que l'on tient en mathématique, et pour cause... Les mathématiciens — surtout du début du siècle — ont repris un vieux problème imparfaitement solutionné par les philosophes anciens et modernes; à travers les réflexions de G.

Cette façon de construire des concepts, bien qu'elle soit naturelle et simple, peut être lourde et innefficace. Il est pratique de construire des concepts par la formation ou l'apprentissage de règles. C'est ainsi que l'on définit un nouveau concept en faisant appel à des concepts existants et en leur imposant des contraintes; cette hiérarchisation facilite la définition de concepts complexes et abstraits, et souvent plus utiles. La constitution d'un dictionnaire en est un excellent exemple; les mots y sont définis à partir d'autres mots et il suffit d'accepter a priori certaines définitions pour que le processus démarre. Plus complexe, mais de même nature, est l'élaboration d'une langue naturelle.

Les concepts sont de genres différents et il existe quelques types de concepts bien définis qui nous intéressent. Les concepts conjonctifs sont ceux qui possèdent une ou plusieurs propriétés en commun; la particule «et» est leur unificateur. Une bicyclette est formée de deux roues et de pneus et d'un guidon et d'une selle et d'un cadre et ... Les concepts disjonctifs ont au moins une des propriétés possibles; la particule «ou» est dans ce cas l'unificateur. Un hors-jeu au hockey est défini par une des situation suivantes: un joueur qui en précède un autre (selon certaines règles établies), une rondelle dégagée qui franchit trop de lignes ou un lancer dans la foule ou ... Les concept relationnels classent les objets sur la base de leurs relations avec d'autres objets ou avec les propriétés d'un autre objet. Au-dessus de, en avant de, plus grand que, le double de sont des exemples de ce type.

Nous pourrions continuer longuement cette discussion sur les concepts et leur formation; arrêtons-nous et retenons que l'idée de concept est fondamentale en résolution de problèmes parce qu'elle concerne directement ce sur quoi porte la résolution de problèmes: c'est le domaine même de travail.

2.4 Le langage ou la langue naturelle

Si l'homme pense c'est qu'il possède un langage qui peut prendre plusieurs formes: langue parlée, langue gestuelle, langue graphique, langue écrite, etc. La communication entre humains et l'échange d'informations qui en découle ou qui en est la cause conduisent à l'apprentissage de la connaissance. Les concepts sont des objets traités par le processus lin-

---

FREGE, G. PEANO, A.N. WHITEHEAD, B. RUSSELL, D. HILBERT, J. von NEUMANN, W.V.O. QUINE et d'autres, les mathématiques en vinrent à poser avec succès un édifice logique solide. La logique symbolique et la théorie des ensembles (nous devrions dire «les...») sont des produits de cette période si riche en réalisations pour l'humanité et qui ont fait leur apparition dans le monde de l'éducation, pas toujours de façon adéquate. Mais ceci est une autre histoire!

guistique; la résolution de problèmes en informatique, laquelle traite de concepts et de structures, se fait dans notre réel et elle doit nécessairement passer par la langue naturelle.

C'est ainsi que tout domaine d'enseignement et d'apprentissage, toute discipline, dûment constitué de faits, de concepts, de règles, de lois, de méthodes, de processus de pensée traite de contenus connus et inconnus. Les problèmes qu'on peut y rencontrer sont de deux ordres: il y a d'abord et en tout temps les problèmes cognitifs que connaît la personne qui travaille à l'acquisition de connaissances; il y a ensuite les problèmes propres à la discipline qui fait l'objet d'un enseignement. Les problèmes reliés à la langue naturelle et à la psychologie appartiennent au premier ordre, tandis que ceux reliés à la récursivité et àl a programmation structurée appartiennent au second ordre.

Une personne qui a un problème à résoudre par l'informatique se trouve devant deux difficultés particulières. Elle doit en premier lieu saisir la situation, par exemple en lisant un texte ou en décodant un message afin de «voir le problème»; dans un second temps, elle doit comprendre comment les moyens informatiques peuvent être mis à contribution. Dans les deux cas, l'usager a entre lui et le problème une distance à combler; la notion d'interface-usager apparaît. On appelle interface-usage ce moyen par lequel une personne communique avec un interlocuteur. En informatique, une interface-usager est surtout un outil multiforme qui simplifie l'interaction entre les usagers et les environnements de travail afin de mieux solutionner le problème. Un écran, une souris, une tablette graphique, un clavier spécial, un logiciel comme Finder ou Window[1] sont des interfaces-usagers communs. Dans cet ordre d'idée, il est une interface-usager de première importance que l'on ne saurait ignorer, et dont on ne saurait minimiser la fonction: le langage dit naturel — pour le distinguer des langages informatiques — utilisé par l'homme.

2.5 Les types d'approches

Posons tout de suite un problème de forme classique, sans trop nous soucier de sa solution car il s'agit en fait d'un prétexte:

---

[1]Finder est la partie du système d'exploitation (SE) apparaissant à l'écran qui permet à l'usager d'utiliser l'ordinateur de manière simple; les icônes graphiques, les barres de menus, les menus déroulants, les opérations de «glisser», «pointer» «cliquer» sont des éléments constituant le Finder. C'est le SE de la Compagnie Apple que l'on retrouve sur les ordinateurs MacIntosh, entre autres. Windows, de la firme Microsoft, est un logiciel qui se situe entre le système d'exploitation DOS de Microsoft et l'utilisateur qui, en imitant dans une certaine mesure le Finder d'Apple, veut faciliter l'exécution de certaines tâches.

> Le train #23 file en direction de Québec à une vitesse de 60 km/h. Il est à une distance de 100 km de la Gare intermodale de Québec quand un pigeon (voyageur?) qui était monté à Montréal décide de s'envoler vers la même gare. Au même moment, le train #24 quitte la gare de Québec en direction de Montréal en empruntant la même voie et file à 40 km/h. Le pigeon vole à une vitesse de 50 km/h en va-et-vient entre les deux trains. Quelle distance aura parcouru le pigeon au moment de la rencontre des deux trains?

Si la solution n'est pas évidente, relisez l'énoncé une autre fois (la solution est donnée dans la note au bas de la page).[1] La note lue et comprise, il est clair que ce problème peut être résolu par intuition, perspicacité ou sagacité, sans avoir à mettre en marche une stratégie de résolution de problèmes qui soit complexe et longue. Cette première approche fait appel à certaines habiletés: reconnaître et utiliser ce qui essentiel à la solution, combiner les unités d'informations qui sont séparées et en tirer possiblement de nouvelles qui seront utiles, comparer la situation qui comporte le problème avec des situations analogues résolues ou desquelles il est possible d'obtenir des informations semblables.

Un autre type d'approche s'appuie une opération qui induit des procédés de résolution mécaniques ou mécanistes. La mémorisation simple, fondée sur l'application d'un ensemble de règles mémorisées, et la méthode dite «d'essais et d'erreurs» servent dans la recherche de la solution. L'une ou l'autre de ces approches auraient éventuellement permis d'obtenir une solution du problème; la note 1 indique cependant qu'il existe un moyen plus simple, plus facile et plus élégant de la trouver.

Ces deux types d'approches peuvent toutefois se révéler insuffisants pour résoudre des problèmes; la recherche de solutions par la compréhension, un niveau de raisonnement plus élevé que les précédents, fournit alors le cadre nécessaire à l'analyse du problème et éventuellement de la «bonne réponse». Généralement, cette approche est utilisée quand la solution n'est ni apparente, ni évidente; elle passe d'abord par l'identification de propriétés générales de la solution recherchée et ensuite par l'examen d'hypothèses de solutions fonctionnelles. Ainsi, un projet visant à tenir à jour le fichier contenant les notes scolaires des élèves dans une école où il y a des classes du primaire et du secondaire devrait se faire en deux étapes. On n'y arrive pas par essais et erreurs, pas plus qu'en criant «lapin!» ou «eurêka!».

---

[1] En exactement 1 heure, le train #23 et le train #24 auront parcouru une distance totale de 100 kilomètres (60 + 40), et comme le pigeon vole à 50 kilomètres/heure, il aura parcouru 50 kilomètres au moment où les trains se croiseront (en 1 heure de vol, soit le temps mis pour que les trains se rejoignent).

Divers facteurs viennent s'ajouter à ces types d'approches et risquent de les modifier; néanmoins, cette classification en trois types — solutions par intuition, solutions mécaniques, solutions par compréhension — montre qu'il est possible d'utiliser divers moyens, souvent complémentaires, pour nous aider à comprendre le problème et à trouver une solution, quand il en existe bien sûr.

Les approches qui existent pour résoudre des problèmes s'appuient sans exception sur des processus mentaux relevant du fonctionnement intelligent du cerveau, la pensée. Nous venons de décrire trois formes de pensée; nous pouvons ajouter que la pensée est aussi inductive (quand elle passe de simples faits ou d'observations précises vers des principes ou concepts généraux) ou déductive (quand elle passe de principes généraux à des situations particulières). La pensée peut également être de forme logique (quand elle fait appel à des règles formelles pour obtenir des conclusions nouvelles à partir de données connues) ou non-logique (quand elle se base sur l'intuition primaire, l'association, l'expérience personnelle, etc.)

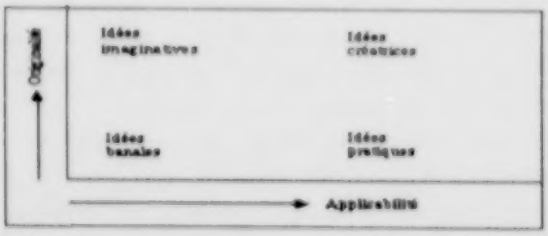
Le nombre formes de pensée utilisées pour tenter de résoudre un problème est donc un nombre suffisamment grand pour donner plusieurs voies dans lesquelles s'engager. Ces types sont enrichis par une forme de pensée qui s'appelle la «pensée créatrice» ou la créativité, forme de pensée qui mène à la «création» de solutions; c'est l'imagination, c'est l'originalité, c'est l'invention, c'est la découverte, c'est la solution non routinière. Fondamentalement il existe deux grands types de formes de pensée. La pensée divergente fait appel à des qualités de l'intellect qui sont caractérisées par la capacité à produire de nombreuses suggestions et à trouver plusieurs informations pertinentes — la facilité à produire des hypothèses, à changer de point de vue et de classes d'informations, la flexibilité — et à amener des idées originales utiles. Par opposition, et en complément, la pensée convergente s'appuie sur l'unicité, ou la direction unique dans la recherche de la solution lorsqu'il y a plusieurs points de départ. Souvent, la créativité fait appel à une combinaison des formes divergentes et convergentes de la pensée, favorisant ainsi un processus de résolution de problèmes dynamique et riche.

Le lecteur reconnaîtra dans la liste suivante les étapes de la pensée créatrice:

1. Précision du contexte;: définition du problème, identification de ses éléments.
2. Préparation: recherche d'informations, sélection et classification des informations utiles.
3. Maturation: essais plus ou moins fructueux, exploration, travail d'arrière-plan.
4. Éclair: c'est le résultat de la maturation, l'intuition juste, l'eurêka réfléchi.
5. Vérification: la validité critique de la solution et du processus utilisé; si la solution est insatisfaisante, retourner aux étapes 2 et 3.[1]

Le lecteur notera le lien évident entre ces étapes et les quatre étapes mentionnées à la section 2.6 qui suit. Ce lien s'explique en partie par le fait que les concepts relatifs à tout ce qui concerne le fonctionnement intellectuel se recouvrent et prennent des sens plus ou moins différents selon le contexte de discussion et le domaine d'application. Cette «contextualisation» est normalle et indique qu'avec l'éclatement des champs d'études et des disciplines, il faut bien localiser le discours.

L'illustration suivante, tirée de McMullan et Stocking et adaptée , montre comment les idées créatrices menant aux bonnes solutions font appel aux variables originalité et applicabilité.



2.6 Les étapes possibles de la résolution de problèmes

Résoudre un problème est un processus dynamique qui implique une sériation de bornes d'étape reconnaissables, mais dont l'organisation n'est pas nécessairement définitive. Les

---

[1]Certains auteurs, notamment Louis D'HAINAUT dans DES FINS AUX OBJECTIFS (Éd. Labor, Bruxelles, 1983), optent pour un système qui englobe les étapes mentales créatrices et les étapes du processus de résolution comportant des éléments exogènes (par ex., les états); nous avons préféré distinguer les deux afin de faciliter la compréhension des phénomènes dont il est question.

étapes principales et générales qui caractérisent un processus de résolution de problèmes sont les suivantes:

1. La description du problème;
2. L'analyse du problème;
3. Le choix et l'application d'un scénario de solutions: sinon;
   3bis. La création d'un processus de solutions;
4. La vérification.

1. *La description d'un problème* consiste à identifier toutes les caractéristiques premières de la situation initiale (les données explicites et celles qui sont facilement dérivables) et l'expression primitive de la situation finale acceptable. Les points de départ et d'arrivée ainsi précisés auront une influence directe sur le choix des méthodes qui seront retenues.

2. *L'analyse du problème* vient préciser, et elle oblige dans une certaine mesure à le faire, l'ensemble de tous les objets concernés (e.g., les concepts) et de leurs configurations possibles; c'est l'espace des états. Les états initiaux, ceux fournis sans qu'une recherche importante soit nécessaire, sont spécifiés et constituent le moment d'enclenchement du processus. Les états finaux constituent, lorqu'ils sont mis dans une forme particulière, les solutions acceptables.

3. *Le choix et l'application d'un scénario de solutions* (ou de la création de...) reposent sur ces états définissant les règles et les opérations disponibles que l'on peut utiliser; les hypothèses de base sont choisies et posées; le problème et sa solution se précisent graduellement graduellement, le savant mélange, pas toujours évident, entre l'algorithme et l'heuristique s'annonce et se concrétise. En somme, le cahier des charges[1] est rédigé et sa mise en oeuvre peut commencer. Dans le cas où certains éléments requis ne seraient pas évidents, ni disponibles, il resterait à créer les outils nécessaires pour compléter le cahier; ainsi, il faudra dans certain cas créer un logiciel (un programme sur mesure) qui exécutera une tâche précise, alors que dans d'autres cas, il faudra modifier des états afin d'en obtenir de nouveaux. Cette opération est particulièrement riche dans le secteur de l'éducation, bien que plus contraignante; ISI ouvre la porte à la création de moyens et valorise cette démarche.

4. *La vérification*, qui peut se faire selon diverses approches et à différents moments, assure que la solution choisie et obtenue est correcte, tant au plan de la cohérence avec les états initiaux du problème et de la valeur pédagogique en milieu scolaire, qu'au plan de la

---

[1]L'expression «Cahier des charges» due à Michel BINSE , professeur au Lycée Branly à Boulogne-sur-Mer, FRANCE, résume très bien ces opérations complexes et essentielles dans tout processus de résolution de problèmes.

validité logique— il ne doit pas y avoir de glissement, ni de contradiction. Cette dernière opération est particulièrement importante car elle permet une critique enrichissante de l'ensemble des dimensions du problème solutionné, de même que du problème qui est resté sans solution; dans la classe, ce sont surtout des problèmes avec solutions qui sont traités, alors que dans la réalité beaucoup plus de problèmes restent sans solution! Voilà pourquoi il est important de tirer profit des situations dans lesquelles le processus de solution ne s'est pas correctement déroulé, et d'en tirer des conclusions positives, en particulier en ce qui concerne les attitudes;[1] il n'est pas question d'échec, mais bien d'apprentissage basé sur des bons coups et des moins bons coups.

Ces étapes sont généralement celles que l'on observe; s'il est facile de reconnaître une stratégie à adopter pour résoudre un problème, il est plus difficile de préciser quelles sont les structures, les procédures et les domaines de connaissances découlant de la stratégie adoptée. Nous devons accepter que le cheminement du processus repose sur des acquis, mais aussi sur des éléments indéfinis ou indéfinissables; nous saisissons mal, plutôt imparfaitement, le rapport entre l'expérience et la création et leur impact sur l'élaboration de la solution. Par contre, nous savons qu'il y a des façons de faire qui fonctionnent et certaines qui fonctionnent mieux que d'autres; à nous de les exploiter.

2.7 Les requisits pour résoudre des problèmes

Pour qu'un processus de résolution de problèmes s'enclenche, il faut des préalables. Nous avons mentionné des éléments constitutifs de ce vaste complexe: des étapes, des éléments définissants, des caractéristiques «environnementales». Cependant, il ne saurait être question de la mise en oeuvre d'une stratégie de résolution de problèmes sans que quelqu'un, à un moment ou à un autre, prenne conscience qu'il existe une situation posant problème. L'existence précède l'action; ceci est certainement vrai, particulièrement dans un contexte scolaire. En effet, ce qu'on fait souvent à l'école consiste à présenter une situation problématique artificielle et à assurer que le problème en résultant est évident et clair pour tous les élèves ... qui se voient imposer cette situation. Ce choix «extérieur» de situations problématiques devrait nous inciter à la prudence parce que nous ne savons pas, ou presque pas, ce qui se passe dans la tête des élèves. D'abord, il faut un élément de motivation, et ceci nous le savons parce que nous le constatons tous les jours.

---

[1] Plus précisemment, nous visons l'analogie avec l'idée et la fonction de «débugging» (en français, l'épuration, ou encore la correction des erreurs!) en programmation qui est considérée comme une opération normale et enrichissante, car elle contribue à une meilleure connaissance et à un produit mieux fait.

Ensuite, apparaît le besoin de clarifier la situation posée comme problème, de sorte qu'entre le début de la réflexion et sa fin, un changement de connaissance se produise; un état final — qui peut être temporaire — de satisfaction est atteint, et l'on en sait plus à la fin qu'au début; de nouvelles interrogations apparaissent souvent en cours de route, qui sont le fruit de nouvelles connaissances. L'existence d'une cible finale, ainsi que sa reconnaissance— la solution au problème— doivent exister si l'on veut qu'un processus de résolution du problème s'enclenche et conduise éventuellement à la solution.

Finalement, il faut réaliser que le cheminement et le processus de résolution de problèmes s'inscrivent dans le temps et qu'ils font appel à une démarche empruntant aussi bien aux processus mentaux révélés par la psycho-pédagogie qu'au processus relevant des champs disciplinaires eux-mêmes. Cette relation intime et hypercomplexe entre l'intelligence humaine et la connaissance peut être comparée à une partie de tennis sur table où le nombre de joueurs et de balles est grand et où les joueurs évoluent à très grande vitesse. Une dose de réalisme reposant sur des limites et des contraintes évite de sombrer dans l'abandon et le découragement; la fonction de «magister» vient s'intégrer dans le processus entrepris par l'élève. Cette fonction interventionniste est plus ou moins efficace selon que le maître agit au bon moment et de la bonne façon, et qu'il sait agir en tenant compte des besoins de chaque élève (30 élèves, 30 interventions); la compétence de ce maître est donc un élément clé. Il y a une dynamique fondamentale dans ce processus de résolution de problèmes; il y en a également une sous-jacente dans le processus de représentation des connaissances, comme nous le verrons à la section 2.9. L'apprentissage repose sur cette dynamique combinatoire.

Quand l'élève est enfin prêt à commencer, il est également nécessaire qu'il puisse disposer d'un environnement informatique adéquat, en plus des outils habituels: ordinateurs, périphériques, logiciels, documentation. L'ordinateur offre des caractéristiques qu'il faut exploiter, en particulier la grande capacité de mémoire, la vitesse d'exécution et les nombreux modes de représentation des «données» qu'il peut offrir. La mémoire informatique qui est maintenant disponible et potentiellement utilisable permet à l'élève de recueillir des informations en quantité et en qualité, sans se sentir piégé dès le début par des contraintes inutiles; en effet, quoi de plus frustrant et négatif pour l'élève que de se voir dans un cul-de-sac dès le départ, parce que certaines contraintes pourraient êtres facilement éliminées. Ces informations, nombreuses et diverses, doivent être traitées en fonction du problème à résoudre; la vitesse autorisée par l'ordinateur favorise un traitement acceptable et souple; l'élève peut alors entreprendre les opérations (le traitement informatique automatique sous la direction de l'usager) en toute quiétude parce qu'il sait que les choses sont possibles et que l'erreur n'est pas une catastrophe; au contraire, elle peut être réutilisée avec profit. Accumuler et traiter des données implique aussi la souplesse et la variabilité dans les

processus de la résolution de problèmes; chaque élève a son, ou plutôt, ses points de vue et ses façons de faire. Un individu possède des particularités qui le distingue des autres individus, ce qui ne signifie pas qu'il n'existe pas de constantes, d'universaux, de «choses en commun»; l'équilibre entre l'unicité de l'élève et la communauté scolaire, entre les processus utilisés par l'élève et les processus fondamentaux est ce qu'il faut atteindre. C'est aussi ce qu'il y a probablement de plus difficile dans la relation le maître et l'élève.

Pour résoudre un problèmes il faut une stratégie de planification: stratégie, parce que les approches sont nombreuses et diverses, et qu'il faudra éventuellement choisir, et plusieurs fois; planification parce le processus est complexe et qu'il faut travailler en tenant compte de plusieurs facteurs — temps, environnement de travail, capacité intellectuelle, intérêts, activités imposées, matériels disponibles, motivation, autonomie, etc. La stratégie de planification est elle-même complexe; il s'agit d'un concept pas toujours bien défini, et que de jeunes élèves ont naturellement de la difficulté à saisir et à mettre en application. Cette difficulté externe, pour ainsi dire, vient donc s'ajouter à la difficulté de trouver la solution au problème. Mais le résultat de l'apprentissage, si variable soit-il, en vaut la chandelle parce que les acquis sont intéressants; c'est une des raisons pour lesquelles la programmation dans ce qu'elle est et dans ce qu'elle a d'effets indirects est aussi riche sur le plan de l'acquisition de bonnes habitudes de travail.[1] La programmation oblige les élèves à planifier leur travail. L'enseignement d'un langage de programmation est peu important en soi; c'est toute la stratégie de planification qui met en marche le processus, et qui fait appel à un outil langagier informatique —le langage de programmation— pour créer d'autres outils nécessaires à la solution qui importe. C'est dans ce sens que l'appel à la prudence face à l'usage de certains logiciels-outils est fait; s'il n'est pas nécessaire de connaître le domaine de l'automobile pour conduire une voiture, il semble qu'à l'école de l'apprentissage, le domaine de l'informatique et la façon dont les connaissances informatiques sont utilisées deviennent prioritaires; c'est un des rôles premiers de l'école que d'apprendre aux élèves à connaître.

2.8 Les requisits de base

Les paragraphes précédents indiquaient sommairement certains préalables à l'enclenchement d'un processus de résolution de problèmes: conscience de l'existence du problème, motivation, changement, environnement, stratégie, etc. Mais il ne faudrait pas oublier les autres conditions également requises. Sans entrer dans les détails, il est certes utile d'en

---

[1] Voir en particulier la section 3.3.1 portant sur l'apport de la programmation, où cet élément fait l'objet d'un traitement plus extensif.

rappeler quelques-unes; le lecteur pourra trouver tous les détails dans des ouvrages de psychologie et de pédagogie.

La documentation spécifique sur les domaines de connaissances (les disciplines d'enseignement) dans lesquels les problèmes se posent doit être disponible dans la classe ou à la bibliothèque de l'école; si le problème se pose en musique ou en histoire, l'élève doit disposer des livres et de matériel en quantité et en qualité suffisantes pour obtenir l'information sur ces sujets. Si le problème se pose en mathématique et que la documentation pertinente n'est pas dans la classe, ni à la bibliothèque de l'école, alors il faudra penser faire des emprunts à l'extérieur, même des achats précis. Le changement du problème parce qu'il n'y a pas suffisamment d'ouvrages de références ne devrait se faire qu'en dernière instance.

La documentation spécialisée sur tous les outils informatiques que l'élève utilisera devra aussi être prévue et mise à la disposition de ce dernier en tout temps; l'absence de documentation sur les ordinateurs, les périphériques (imprimante, modem), les logiciels, les extensions, le matériel secondaire (cables, prises) est un problème important dans le milieu scolaire, qu'il faut solutionner.

La présence d'enseignants et d'enseignantes à l'école est une ressource de première ligne que les élèves voudront «mettre de leur bord», même si l'appel à ces compétences extérieures -- n'étant pas responsables de l'enseignement de l'informatique — risque de les incommoder plus ou moins. Il faudrait expliquer aux enseignants de l'école l'essentiel du programme ISI, et les raisons pour lesquelles les élèves ont besoin de faire appel à leurs services. Le recours à des consultants externes à l'école est une mesure possible qu'il ne faut pas proscrire, ni empêcher; il faut prévoir de telles actions et indiquer une marche à suivre dans de tels cas. Nous-mêmes faisons appel à des consultants, alors pourquoi ne pas favoriser une pratique semblable chez les jeunes?

Les sources d'information extérieures au milieu scolaire doivent être incorporées à la planification pédagogique d'ISI; il faut indiquer aux élèves où trouver le matériel qui leur sera utile, quelles sont les compagnies ou firmes susceptibles de leur fournir une information pertinente et, en dernier lieu, leur faire apprendre comment faire le nécessaire (lettre de demande et suivi de la correspondance) afin d'obtenir ce dont ils ont besoin. Il faut encourager ce type de démarche, car il s'agit d'une étape importante dans la résolution de la plupart des problèmes: **aller chercher l'information adéquate.**

Il ne faudrait pas oublier que la lecture est une activité scolaire de base; dans le cadre de celle-ci, il est pensable d'assigner la lecture de livres ou de parties de livres, de revues, de journaux, d'extraits de documents contenant du matériel susceptible d'enrichir la connaissance des élèves dans le domaine de l'informatiques, mais aussi dans divers autres

domaines: pédagogie et psychologie, sciences, technologie, recherche, expérimentation, comptes-rendus, traduction, robotique, profession et carrière, émission télévisée et films, intelligence artificielle, graphisme et animation, musique synthétique, etc. Domaines de connaissances agrandis, perceptions diverses et nouvelles de ces domaines, ouverture d'esprit sur le monde sont quelques grandes notions qui ne peuvent que prendre un meilleur sens chez les élèves.

Il faut admettre que ces pratiques sont imparfaitement implantées dans l'école; cependant, elle font partie de l'éducation. Il est donc essentiel de consacrer les efforts et le temps nécessaires à leur application; le programme ISI permet et encourage ces pratiques, minimisant dans la mesure du possible les barrières quelquefois artificielles ou qui font obstacle à l'apprentissage libre de la connaissance.

2.9 Les domaines de connaissance

Toute activité de résolution de problème ne peut se faire que s'il existe un domaine de connaissances contenant le problème (dans le sens où le problème s'y re-trouvera), il va sans dire, mais d'abord et avant tout des contenus ou des objets de connaissance. En termes équivalents, il n'y a pas de projet d'élèves comportant un problème à résoudre par ce dernier si d'abord il n'existe pas une discipline (une matière scolaire) formé de faits, de concepts, de règles, de lois, de théories, de méthodes, etc. Or, dans le cas qui nous concerne plus spécifiquement — ISI — la situation pose une difficulté à deux « branches »: la discipline informatique ou la science informatique, et la discipline dans laquelle se pose le problème (chimie, français, musique, éducation physique, géographie, technologie, histoire, sciences naturelles, langue seconde, etc.). À cette dualité sur le plan des disciplines s'ajoute la dualité des didactiques: didactique de la science informatique et didactique de l'autre discipline. Nous sommes en milieu scolaire, ce qui complique notre tâche; nous l'avons déjà mentionné, et nous y reviendrons.

Ce problème indique des chemins à suivre: trouver une définition opératoire du concept de domaine de connaissances et se donner une compréhension appropriée, et clarifier l'idée de représentation des connaissances dudit domaine. Un débroussaillage du chemin a été entrepris à divers endroits précédemment; tentons maintenant une définition opératoire:

> ***Domaine de connaissances*: Ensemble structuré de faits, de concepts, de règles, de lois, de méthodes réunis pour une situation donnée.**

Commentaire: Le domaine de connaissances est particulier à une situation. Ainsi il peut être un sous-ensemble d'une discipline — par exemple, la mathématique définie dans

le curriculum du niveau secondaire de l'école québécoise est différente de la mathématique qui existe comme connaissance fondamentale. Le domaine de connaissances peut également varier selon le contexte scolaire — ainsi, l'histoire de 5ième secondaire est un domaine de connaissances distinct de l'histoire de 2ième année du baccalauréat universitaire, voire de l'histoire de 5ième année du primaire.

Ce qui importe pour nous, c'est de saisir que les domaines de connaissances sont importants, mais plus importants encore sont les contenus qui font l'objet de l'étude et du traitement . Il faut des contenus bien définis sur lesquels travailler; ces contenus seront traités plus ou moins rigoureusement selon les cas, mais ils devront toujours être bien définis en fonction du contexte.

En somme, le domaine de connaissances est important, et les personnes qui s'y intéressent également; cette facette didactique nous amène à introduire une autre définition opératoire, celle de la représentaion de la connaissance.

***Représentation de la connaissance*: Processus dynamique complexe menant à l'idée mentale qu'un individu possède d'une réalité.**

Commentaire: Un processus, parce qu'il y a plusieurs étapes, certaines connues, d'autres moins, et plusieurs mêmes qui nous échappent; dynamique, parce le processus est en construction permanente, ce qui implique que l'idée mentale évolue et se modifie; complexe, parce que les variables indépendantes sont nombreuses et leur comportement mal connu. L'idée mentale serait ce qui est dans la tête de la personne; c'est une phase finale (pas nécessairement la dernière) ou une cible découlant du processus. Un individu a sa propre représentation d'une connaissance, et il est difficile de savoir si cette réprésentation est la même qu'a tout autre individu; il appert que le mieux auquel nous pouvons prétendre consiste à dire que «... ces personnes semblent avoir la même idée concernant telle connaissance...». La réalité comprend non seulement les objets concrets et physiques, mais également les objets abstraits ou créés par l'humain. Nous préciserons le concept de représentation de la connaissance ou des connaissances dans la section suivante parce qu'il est un pivot de la résolution de problèmes, mis en évidence par l'informatique et par les travaux menés dans le domaine de l'intelligence artificielle, plus particulièrement ceux sur la cognition.

En somme, représenter une connaissance est une opération non univoque et extrêmement complexe; il faut donc garder une grande ouverture d'esprit et avoir une empathie particulière pour l'élève qui entreprend une démarche de résolution de problèmes.

2.10 Paradigmes, langages et programmation

Nous avons abordé plus ou moins directement le concept de paradigme à travers certains thèmes: l'importance de bien choisir les étapes de le solution (section 2.6), la présence des requisits (section 2.7, 2.8), la définition des domaines de connaissances (section 2.9), le système à mettre en place (section 2.11) et les langages (section 2.11, item #7 — *Les langages informatiques*) et les sujets compémentaires (section 2.11.2).

Si nous adoptons la définition suivante du paradigme, nous nous inscrivons dans l'ensemble du problème de la connaissance du monde réel et, du fait même, dans l'activité de résolution de problèmes:

> ***Un paradigme*** **est un point de vue particulier sur la réalité, un angle d'attaque privilégié sur une classe de problèmes, un état d'esprit qui affecte notre perception des choses.**[1]

L'idée de paradigme est relativement nouvelle en programmation, en particulier dans le domaine de l'enseignement secondaire; l'introducton de cette idée donne lieu à une nouvelle approche de la classification des langages de programmation et de certains outils de développement, approche qui permet de rapprocher les outils logiciels utilisés par l'humain et les machines appartenant aux nouvelles technologies informatiques (NTI), mais surtout de faire en sorte que l'acquisition de connaissances à l'aide de l'environnement informatique se rapproche des processus mentaux. En somme, le concept de paradigme informatique permet une vision de la résolution de problèmes ouverte, qui correspond davantage au fonctionnement mental qu'au fonctionnement de la machine.

Les langages de programmation et leurs variantes permettent de faire exécuter à un ordinateur des tâches que l'humain lui indique de faire; il s'agit dans un premier temps d'un calque qui a des limites évidentes. Les langages se ressemblent dans leur forme ou leur fonctionnement, ce qui permet de faire divers types de classification (compilé vs interprété, structuré vs linéaire, typé vs non typé, etc.) en foncton de la machine plus que du processus de travail. L'approche paradigmatique permet de regrouper les langages et les environnements de programmation selon un schème qui tient de la façon de percevoir les

---

[1] Cette définition est la dernière d'une série de définitions élaborées autour de 1984, à l'époque où le Laboratoire d'intelligence artificielle démarre à la Commission scolaire Des Cantons (autrefois CSR Meilleur); elle est tirée d'une communication faite par Jean-François CLOUTIER au Colloque francophone sur la didactique de l'informatique en septembre 1988 (*op. cit.*) qui a pour titre: APPORT DE DIFFÉRENTS PARADIGMES DE PROGRAMMATION COMME AUTANT D'OUTILS DE PENSÉE.

objets, de les représenter, et finalement de les traiter. Cloutier mentionne quatre paradigmes qui peuvent être intéressants pour la didactique de l'informatique:

1. Le paradigme VON NEUMANN: les langages sont très proches du fonctionnement interne de l'ordinateur (ex.: les assembleurs, FORTRAN, BASIC).
2. Le paradigme FONCTIONNEL: les langages sont d'essence mathématique, dans leur symbolisme et dans leur manière de voir le «comment faire» (ex.: LISP, LOGO, ALGOL, APL).
3. Le paradigme LOGIQUE: les langages sont d'inspiration logico-mathématique, donc à l'allure formelle et s'occupant conséquemment plus de la forme, moins des objets à traiter (ex.: PROLOG, NIAL).
4. Le paradigme ORIENTÉ OBJETS: les langages de cette famille considèrent l'objet par toutes ses caractéristiques, aussi bien celles d'états le définissant que celles de fonctionnement dont est capable l'objet. Ce paradigme nous ressemble dans le sens où nous fonctionnons un peu de cette manière; nous «sommes», nous «recevons» et nous «agissons».[1] Smalltalk, CLOS, C++ en sont des représentants familiers, mais il existe plusieurs autres langages orientés objets.

Il faut dire que depuis un certain temps, les environnements de travail font appel à des solutions hybrides qui groupent plusieurs aspects caractéristiques d'un ou de plusieurs langages, mêmes de plusieurs environnements (ex.: KEE, POPLOG, Smalltalk/V-Mac).

L'idée qu'il faut retenir repose sur les observations suivantes:

a. Il n'y a pas, encore, un langage (ou un environnement) qui soit meilleur que tous les autres;
b. Un langage peut être plus approprié pour résoudre un problème; en combiner divers est quelquefois la meilleure façon de faire;
c. Si la situation est riche en apprentissages, alors il sera utile, et même nécessaire de faire appel à un outil puissant;
d. Il ne faut pas confondre facilité et convivialité (simplicité); l'outil puissant et riche exige souvent un apprentissage plus long, qui est plus profitable à moyen et à long termes;

---

[1]Cette idée d'objet et de globalité est abordée dans un article de Bertrand A. MORIN intitulé: L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE À L'ÉCOLE: UNE PREMIÈRE INTRODUCTION, qui a été publié dans Le Bus (Mai 1988, pages 6-12). Cf. page 10, #7. L'apprentissage ou la cognition...et le cas de Monique au restaurant, en particulier.

e. Il faut s'habituer à changer de points de vue, donc à laisser plusieurs portes ouvertes;

f. Les outils informatiques qui permettent des modes de représentation variés, qui contribuent à multiplier les points de vue, qui sous-tendent ou génèrent des métaphores riches sont ceux qu'il faut rechercher et utiliser;

g. Ces outils doivent, dans certains cas, favoriser un mode de recherche exploratoire avant même de permettre le traitement ou l'exécution; par exemple, dans l'analyse des données à l'aide de logiciels statistiques, il est utile, à tous points de vue, de pouvoir manipuler d'abord en explorant les données pour tenter d'y déceler des structures avant de faire exécuter des calculs. L'informatique permet d'adopter une telle approche, à la condition d'avoir les bons outils et de mettre en place une approche pédagogique faisant appel à l'exploration dans le processus de résolution de problèmes.

h. Il est essentiel de «didactiser» les environnements informatiques, si riches soient-ils, en portant notamment une attention particulière à la nouvelle forme d'apprentissage où l'humain utilise une machine pour apprendre.

i. Le milieu scolaire a des besoins aussi grands que n'importe quel autre milieu en ce qui concerne les environnements de travail; en d'autres termes, ce n'est pas parce qu'on est jeune et à l'école qu'il faut se contenter de vieux matériel caduque. L'apprentissage est trop exigeant et important pour être négligé et laissé aux solutions à rabais.

2.11 La notion de système

Nous devrions prendre conscience, si ce n'est déjà fait, du fait que résoudre un problème est une activité complexe, difficile et que nous connaissons imparfaitement. Les éléments constitutifs qui influencent le déroulement d'une action de résolution de problème sont divers et nombreux; ils sont en eux-mêmes complexes et plus ou moins bien connus; comment chaque élément influence le déroulement, comment des combinaisons de ces éléments agissent et comment les imprévus modifient un processus sont des questions qui se posent, et pour lesquelles il existe des réponses et des esquisses de réponses, mais aussi pour lesquelles il demeure de nombreuses absences ou zones d'ombre. Ce commentaire est néanmoins positif; en effet, nous savons beaucoup, souvent plus que nous le pensons. Il est donc possible et réaliste penser pouvoir résoudre des problèmes correctement et de façon satisfaisante.

Il est nécessaire d'avoir un système pour s'attaquer aux situations complexes; un système favorise une certaine intégration de tous les «points de vue» et des divers

«processus» énoncés, et assure une ouverture en laissant de la place pour tout ce qui peut être utile! L'appel à un système aide à prendre du recul (ce point de vue d'un observateur extérieur) par rapport au problème; la section 2.11.1 propose un système, mais ce n'est pas l'unique, ni le meilleur dans toutes les circonstances.

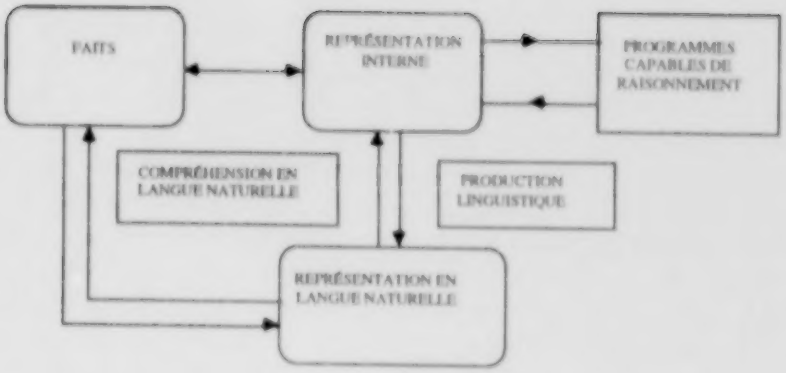
Si résoudre un problème porte sur les connaissances, celles-ci doivent faire l'objet d'une analyse approfondie. Il existe des connaissances qui sont anciennes et qui se sont accumulées au fil des années; l'homme a réussi à en faire le tour et à en produire une synthèse formée de structures riches. De ces structures, il a tiré d'autres connaissances et il est probable qu'il en tirera d'autres dans le futur. Ces nouvelles connaissances, à leur tour mises en structures, s'ajoutent et s'intègrent à notre grand domaine de connaissances (cf. la section précédente: Les domaines de connaissances). Tout cela conduit à la mise en place — il n'y a pas d'alternative — de structures nouvelles en regard des disciplines existantes, mais surtout à la création de structures d'analyse et de traitement de l'information, en quelque sorte des méta-structures propres à l'informatique moderne.

L'organisation de l'information disponible et son traitement en fonction d'une situation posant un problème à l'élève constituent des parties importantes du processus de résolution de problèmes. C'est un moment, une étape, où l'informatique peut jouer un rôle, car elle apporte des instruments nouveaux et des approches différentes comme nous le verrons plus loin; de plus, la science informatique autorise des méthodes qui enrichissent sensiblement les processus traditionnels d'acquisition de connaissances dans les disciplines, à la condition de faire un effort pour mieux connaître en sus l'informatique, il va sans dire.

Revenons pour continuer à définir — en adoptant l'approche en spirale proposée par Jerome Bruner[1] — le concept de représentation de la connaissance. Représenter des connaissances est une activité proche de l'activité linguistique normale ou du fonctionnement de la langue naturelle. Or, raisonner est aussi une activité connexe à l'usage de la langue sous une forme ou sous une autre; ISI fait un appel constant à cette relation essentielle et, disons-le, complexe et encore mal connue. Illustrons par un petit diagramme.

---

[1]Ce concept de «spiralisme» est d'abord présenté par Jerome BRUNER dans TOWARD A THEORY OF INSTRUCTION (publié en 1966 chez John Wiley and Sons), repris et explicité dans STUDIES IN COGNITIVE GROWTH (chez le même éditeur, 1966) et illustré pratiquement dans GOING BEYOND THE INFORMATION GIVEN, publié en 1973 par la maison Norton.



Quels sont les moyens susceptibles de nous aider à mieux, et surtout à bien, représenter les ensembles de connaissances? Il est important pour l'élève de pouvoir disposer des éléments requis dans une forme qui soit utilisable; la représentation d'une connaissance doit donc prendre une forme reconnaissable par plusieurs personnes dans un contexte donné. L'expression de l'objet traité sous une forme formelle s'impose; le formalisme de représentation élimine le plus de parasites possible (par exemples, les caractéristiques non-essentielles de l'objet, les attributs appartenant à des exceptions) et oblige à une analyse serrée de l'objet. Quand un problème est présenté à un élève (ou qu'il le choisit lui-même par le projet, comme dans ISI), il est essentiel qu'il le soit d'une manière correcte, sans erreurs et sans contradictions; ensuite, il faut que les connaissances requises, soit par la situation problématique, soit par le processus même de résolution de problèmes, soient disponibles pour l'élève. D'où le besoin d'avoir des moyens adéquats pour représenter et traiter ces connaissances.

Nous avons mentionné aux articles 2.1 et 2.2 des éléments relatifs à la résolution de problèmes; la représentation des connaissances par la logique des prédicats ou la logique propositionnelle assure la formulation en termes de propositions (les énoncés) bien définies et pour lesquelles il existe une procédure de décision (un mécanisme de fonctionnement admis). Ce sont ces mêmes règles de la logique que nous utilisons dans le quotidien, et qui sont très proches de celles de la langue naturelle (le français); mais en formalisant et en utilisant une symbolique appropriée, nous nous assurons de l'existence de la bonne définition et du bon cadre de raisonnement. En somme, nous nous donnons un mode de représentation utile, qui comporte les principes de la complétude — tous les éléments

nécessaires y sont — et de la contradiction — il n'y a pas dans le cadre de travail deux éléments ou plus qui se contredisent.

Par exemple, dans le cas du *problème du train et du pigeon* (*Cf.* 2.5), il faut que toutes les informations pour résoudre le problème soient disponibles (explicitement et implicitement) et qu'il n'y ait pas de contradiction (le vol du pigeon et le déplacement du train, dans leurs caractéristiques, n'impliquent pas une impossibilité). Naturellement, le raisonnement doit être conforme aux règles de la logique et du raisonnement correct.

La logique des prédicats n'est pas toujours la plus appropriée pour résoudre certains problèmes; voyons quelques cas simples:

- «Il fait très chaud ce matin. »: [«très»_____ est un type de mesure inadéquat.]

- «Je crois que Le Canadien gagnera, mais Maurice pense que ce sera plutôt Les Nordiques.»: [Plusieurs systèmes de valeurs et des possibilités insuffisamment précisées]

- «Les individus aux yeux bleus ont généralement les cheveux blonds.»: [Comment préciser le degré de vérité, même si ces individus sont chanceux!]

Il nous faut donc recourir à d'autres outils de réflexion:

1. *La logique non monotone*: On ajoute ou on retranche des connaissances à la base de données en fonction des situations, car on manque d'informations pour décider clairement. Il s'agit de réduire artificiellement le problème pour qu'il devienne possible de le résoudre.

2. *La théorie des probabilités*: On est plus ou moins certain d'une chose ou que quelque chose se produira. L'événement prend une allure mesurable et exacte, à l'intérieur d'une échelle allant de zéro à un.

3. *La logique floue*: Cette logique repose sur l'idée que le vrai (V) et le faux (F) appartiennent à un domaine continu et, conséquemment, pas nécessairement binaire (0 ou 1, mais pas les deux); on attribue donc une mesure à la valeur du raisonnement! «Cette conclusion est vraie pour une valeur de 0,35.». Certains rejettent l'idée d'une telle logique et s'appuient pour cela sur des arguments solides; cependant, l'idée continue à faire l'objet de recherche; il ne faut pas confondre la logique floue avec les ensembles flous, qui eux sont plus facilement acceptés et intégrés aux pratiques.

4. *Les espaces de croyances*: Des emboîtements d'ensembles de croyances amènent graduellement à accepter un énoncé. C'est en quelque sorte un processus de processus de rafinement des consensus d'idées à propos de...

Dans un ordre d'idée légèrement différent, mais complémentaire, ajoutons:

5. *Les réseaux sémantiques et les réseaux conceptuels*: Puisque la connaissance passe par la langue, il est raisonnable de croire que des réseaux sémantiques (e.g., formés de liens entre des concepts primitifs linguistiques) constituant des graphes explicites puissent définir

des connaissances nouvelles. Ainsi, le fait de faire le graphe comportant les primitives de «mammifère» devrait nous procurer la connaissance de l'environnement conceptuel relatif au mammifère. Nous traitons dans une même rubrique ces deux types de réseaux différents; habituellement, ils sont traités séparément. Cependant, l'idée qui leur est sous-jacente est suffisamment commune dans le cadre de ce document pour qu'il soit permis de les réunir.

6. *Les bases de données*: Les faits sont placés dans une base de données selon les règles internes de cette dernière, mais sans soucis d'organisation a prioriste. Plus tard, et au besoin, en extirpant ces faits, la structure et la connaissance de cet aggloméré jailliront et produiront la connaissance désirée.

7. *Certains langages informatiques — LISP*: Par sa structure faisant appel aux «listes», LISP s'appuie sur le principe la constitution de bases de données qui, traitées, produiront la représentation de la connaissance recherchée.

8. *Les prototypes*: (Par extension, nous incluons ici les concepts de cadres ou de «frames» et autres notions du genre: scénarios ou «scripts».) Le prototype réunit et représente si bien toute une famille d'objets qu'il en devient la synthèse; et connaître le prototype permet de représenter facilement des connaissances applicables à de nombreuses situations.

À cette liste non exhaustive, reflétant les méthodes déclaratives, il faut ajouter en complément les méthodes procédurales; ces méthodes sont plus anciennes et mieux connues. Elles portent à la fois sur les informations (les données) et sur le plan d'utilisation (leur traitement) de celles-ci; en même temps qu'on représente la connaissance, on indique comment on fait pour ce faire. Résoudre un problème en utilisant BASIC, Pascal, COBOL ou FORTRAN consiste à s'appuyer sur une méthode procédurale, car les données du problème et la manière de les traiter — le programme — font partie d'un tout et ne sont que très difficilement distinguables.

Ces quelques exemples illustrent qu'il y a plusieurs façons de faire, chacune présentant des avantages, des inconvénients et des limites contraignantes; aucune, utilisée seule, ne satisfait le besoin que fait naître le problème à résoudre et la nécessité de représenter la connaissance. Il faut donc admettre que la solution repose sur le choix judicieux d'un ou de plusieurs outils, et sur une différence possible dans les résultats obtenus. En effet, il peut exister diverses solutions à un problème; il est important de ne pas focaliser sur une seule solution dès le départ du processus de résolution du problème.

Les situations comportant des problèmes sont souvent complexes. Pour les analyser il faut donc utiliser des moyens capables de traiter les éléments, les ensembles d'éléments, leurs relations: nous sommes en présence d'une structure complexe qui nécessite une

représentation structurée de la connaissance, qui permette de traiter l'individu et la collectivité sans ambiguité, l'arbre et la forêt, les composantes et le système et le problème dans son intégrité, etc.

Un bon système de représentation de structures complexes — n'oublions pas que nous parlons de SYSTÈME — de la connaissance possède au moins les quatre propriétés suivantes:

1. La capacité de bien représenter le domaine de connaissance;
2. La capacité de soutenir et de faire les inférences nécessaires;
3. La capacité de progresser positivement dans la bonne direction en guidant le processus d'inférences;
4. La capacité d'introduire et d'accepter de nouvelles données, tout en gardant le contrôle du flux d'informations traitées.

Pour s'assurer qu'un système possède ces quatre propriétés, il faut habituellement faire appel à une méthode procédurale ou à une méthode déclarative, ou à une combinaison de ces méthodes. Répétons-le, l'unicité a peu des chance de succès, en particulier à l'école.

2.11.1 Un système pour résoudre des problèmes

Rappelons les étapes principales sous-jacentes à la construction d'un système destiné à résoudre des problèmes:

1° Définition du problème de façon précise, en incluant les caractéristiques de la situation initiale, ainsi que de la situation finale acceptable.

2° Analyse du problème, la définition de certaines caractéristiques ayant des incidences directes sur le choix des techniques de résolution retenues.

3° Choix de la meilleure technique (scénario) et l'application au problème.

Une description formelle du problème aide à sa compréhension et favorise une éventuelle définition du système en termes de recherche d'espaces d'états; conséquemment, il faut:

1. Définir un espace d'états qui contienne toutes les configurations possibles des objets concernés; nous acceptons les objets «impossibles» et nous visons l'exhaustivité des objets ;

   ...donc bien cerner ce qui est disponible.

2. Spécifier les états initiaux à partir desquels le processus de résolution peut débuter;

   ...donc utiliser des données qui permettent de faire quelque chose de plus.

3. Spécifier les états finaux, i.e. les solutions finales acceptables;

   ...donc garder en vue une cible possible qui serait une solution (réponse).

4. Spécifier les ensembles de règles décrivant les opérations qu'il est possible de faire; nous pensons aux hypothèses de base présentes et à l'aspect informel de la situation sous analyse, aux limites de la généralisation des règles et aux préalables calculés et représentés dans ces règles;

   ...donc toujours avoir à l'esprit ce qu'il est permis de faire, «et de ne pas faire», et toutes les conséquences qui en découlent; penser correctement.

Le processus de recherche est à la base de la majorité des processus intelligents de résolution de problèmes; pour structurer ce processus, il est utile de se donner un système de production permettant de mieux le décrire. Un système de production est formée des éléments suivants:

1. *Un ensemble de règles*, chacune décrivant la possibilité qu'une action soit entreprise, ainsi que la description de chacune des actions.
2. *Une base de données* contenant toutes les informations susceptibles d'être utilisées pour une action.
3. *Une stratégie de contrôle* qui décrit l'ordonnancement des règles appliquées à un problème donné.

Dans ce dernier cas (3), le dynamisme et la complexité des opérations indiquent qu'il faut mettre en place une telle stratégie de contrôle sur les processus de recherche et de tranformation produisant des ensembles de faits constitués en bases de données et des ensembles de règles sur ces données. Le processus de contrôle sur ces règles et ces bases de données est lui-même dynamique: modifications des états, et systématique: local, sur une étape ou une phase, global, sur l'ensemble de plusieurs étapes. Il est nécessaire de ne rien omettre qui serait essentiel. Sur le plan pédagogique, une documentation automatisée qui garde une trace du travail est un outil précieux; si l'on ne dispose pas d'un tel outil, il faut s'astreindre à inscrire dans un cahier les commentaires du travail en cours. Cette documentation, à caractère scolaire, complète et soutien le travail informatique et cognitif de la résolution du problème; elle s'intègre au concept du projet d'élèves et au processus d'évaluation utilisés dans ISI (Cf. l'ensemble des documents relatifs à ISI; voir la bibliographie). La définition du système de production adopté est donc générale et s'applique à presque tout système.

Ces approches font appel à une méthode qui au premier abord semble rigide et inutilement contraignante. Il existe un concept qui permet de mieux situer l'approche méthodolo-

gique et les méthodes. Il s'agit de la recherche heuristique, qui représente cet équilibre souhaité entre l'efficacité d'un processus de recherche (toujours en vue de la solution du problème) et son exhaustivité systématique. Traditionnellement opposée à l'algorithmie, elle doit être perçue plutôt comme une alternative et un complément à cette dernière. Les situations artificielles posent des difficultés qui ne sont pas nécessairement les mêmes que celles posées par les situations réelles; dans ce dernier cas, les connaissances ne sont pas toujours bien structurées, ni aisément structurables, et la situation est souvent difficile à décrire. L'heuristique contribue à résoudre cette difficulté. Ainsi, en examinant certaines caractéristiques du problème à partir d'une interrogation appropriée, il est possible de trouver des solutions appropriées; plusieurs des questions à poser sont générales:

- Le problème est-il décomposable? _____ déstructurable?
- Doit-on garder toutes les stratégies possibles? Peut-on garder uniquement les meilleures? Quelle importance accorder aux diverses stratégies?
- Pour un problème donné, peut-on prédire, et éventuellement définir, l'univers de discussion et le contexte intégral?
- S'agit-il d'une bonne solution? La comparaison avec les autres solutions possibles est-elle nécessaire? Utile?
- La base de connaissances est-elle consistante (sans contradiction interne)?
- Quelle est l'ordre de grandeur (l'importance) de la base de connaissances requise pour solutionner le problème? Peut-on y mettre des restrictions? Y-a-t-il des risques à le faire ?
- La base est-elle fiable?
- Quelle est la nature de l'interaction des divers éléments: le problème, les informations disponibles, les processus, la logique, la personne qui a à résoudre le problème?

Certaines de ces questions ne sont pas limitées exclusivement à la recherche heuristique; elles appartiennent, pour ainsi dire, au domaine entier de la résolution de problèmes. Il faut noter que le contexte de l'interrogation (sous-domaine heuristique, sous-domaine de la représentation de la connaissance, sous-domaine de la structuration des bases de données, sous-domaine de la construction du système, etc.) amène des nuances dans l'interprétation des réponses, et également dans l'interprétation des questions qui sont posées.

La recherche heuristique est, par nature, un processus stochastique, probablement aléatoire; il s'agit de tâtonnements qu'on voudra le plus possible «intelligents» et fiables. L'algorithmie est au contraire une exploration systématique dans laquelle le processus est quasi-certain; certes, la solution n'est pas pour autant assurée. Encore faut-il que le bon

algorithme s'applique à une situation problématique, traitable par cette méthode! L'élève, qu'il ait recours à la recherche heuristique ou à la recherche algorithmique, devra toujours être en mesure de déterminer où il en est: étapes, faits disponibles, règles utilisées, points de jonctions (les noeuds), contraintes, avance ou retour en arrière, progrès ou recul confus, modes de représentation des connaisances, etc. Le recours à un système (de production et de contrôle) oblige l'élève à une rigueur qui ne peut que l'aider à acquérir de nouvelles connaissances, même s'il n'obtient pas la bonne réponse; l'école, notamment à travers ISI, doit tenir compte de celat d'une manière tout à fait particulière.

2.11.2 Sujets complémentaires

Il est naturel, qu'une fois le problème décrit et défini en termes d'états, de réaliser qu'une bonne définition du problème doit reposer sur: **a**) la capacité de produire des représentations de connaissances appropriées et, **b**) sur la mise en oeuvre d'un plan de travail menant à la solution du problème. Nous avons abordé ces points de diverses manières; il reste que les contraintes imposées par le cadre du présent document ne permettent pas un traitement exhaustif et final, et surtout, que nous faisons face à l'impossibilité de connaître parfaitement le sujet. Ajoutons simplement quelques aspects ou concepts de l'IA qui concernent la résolution de problèmes du point de vue de l'informatique, et laissons au lecteur le soin d'aller chercher l'information nécessaire; la biliographie contient des ouvrages utiles.

Autres méthodes de résolution de problèmes:

- Par la comparaison avec une liste de problèmes déjà bien résolus;
- Par le classement des problèmes selon un ordre de difficulté ou de complexité;
- Par l'analyse de classes de problèmes équivalents (isomorphisme des problèmes);
- Par l'énumération de tous les cheminements possibles;
- Par la méthodes du chaînage avant et du chaînage arrière;
- Par une des méthodes de gradient;
- Par la théorie des graphes, combinée avec d'autres méthodes (e.g., la méthode de gradient);
- Par une des procédures min-max;
- Par une des procédures alpha-bêta;
- Par les pairages: index, variables, etc.;
- Par la génération d'hypothèses et leur vérification;
- Par la méthode d'escalade (hill climbing);

- Par les méthodes de recherche en « profondeur d'abord » et en « surface d'abord », en faisceau, etc.;
- Par l'utilisation d'un système expert.

2.12 Constat

Il reste beaucoup de problèmes à résoudre...dans le domaine de la résolution de problèmes; les sections précédentes ont clairement révélé la complexité du sujet ainsi que la remise en question de l'apprentissage cognitif (la cognition) par les travaux de l'intelligence artificielle. L'informatique, comme science, fera de plus en plus souvent appel aux découvertes et aux méthodes dérivées de l'intelligence artificielle en général, et plus particulièrement aux connaissances acquises grâce à la recherche et au développement dans le secteur de la cognition. Il faut donc commencer à penser en fonction de cette perspective dès maintenant, sinon nous aurons à faire face à un retard majeur et qui sera fort couteux. Ce point de vue colore fortement le contenu et le ton du document jusqu'à maintenant.

Mais existe-t-il une synthèse réaliste, simple et fonctionnelle de tout ceci pour le monde de l'éducation, et pour ISI? Il appert que non, du moins si l'on se fie aux pratiques, aux discours, aux publications et aux recherches. Cependant, nous avons appris beaucoup de choses, et dans un second temps —qui correspond à cette section du document— nous exposerons en termes plus simples et familiers (pour ne pas dire «scolaires») comment les appliquer à l'école

III

L'APPLICATION À LA CHOSE SCOLAIRE

3. L'APPLICATION À LA CHOSE SCOLAIRE

La mission de l'école est complexe et difficile; elle ouvre la porte à diverses tendances, aux options, aux choix, mais elle oblige également à suivre des corridors, à discerner des voies balisées et à respecter des règles d'organisation souvent contraignantes. Une question se pose: «Comment, raisonnablement et à partir d'une définition fonctionnelle de la résolution de problèmes, déterminer avec précision des façons de faire qui répondent à la fois aux besoins et aux demandes des utilisateurs en milieu scolaire et qui tiennent compte de l'essentiel des concepts de la résolution de problèmes?».

Si nous tenons tant à parler de résolution de problèmes dans le contexte des programmes d'études, c'est qu'il nous semble que l'on n'en a pas suffisamment parlé avec discernement jusqu'à maintenant, que la popularité du discours à ce propos est insuffisante et qu'il fest important de bien expliquer les apports majeurs qui peuvent résulter d'une telle approche. De tout temps, l'humain s'est attaché à résoudre les problèmes qu'il rencontrait, que ce soit pour des raisons de survie (stratégie de chasse et besoin de gîte), pour des raisons de bien-être (pour avoir un meilleur logement, rendre les déplacements plus faciles), ou encore pour des raisons aussi fondamentales que la connaissance et la communication (pourquoi la lune et le soleil, comment communiquer avec d'autres peuples). Toutes les disciplines ont également dans leur génèse une composante de résolution de problèmes, sous une forme ou sous une autre; sous l'impulsion des tentatives de synthèse et de regroupement des disciplines, grâce aux apports de la philosophie, de l'épistémologie, de la psychopédagogie, et plus récemment, de certains champs de l'intelligence artificielle (cybernétique, communication, informatique, simulation, systèmes experts) nous assistons à l'émergence d'un domaine d'études appelé « résolution de problèmes ». Non pas qu'il puisse y avoir de la résolution de problèmes sans l'existence d'une discipline ou d'un domaine de connaissance, mais parce que la complexité du monde de la recherche implique la mise en place d'une structure distincte — une science — capable de se pencher systématiquement sur la question, avec ses outils propres; il faut quelquefois sortir de la forêt afin de mieux s'y orienter.

Les personnes qui s'intéressaient à la résolution de problèmes, en s'associant à l'intelligence artificielle, ont remis en cause toute la question de la cognition, contribuant ainsi à en faire une véritable science. L'on assiste actuellement à un retour de ceux qui s'intéressaient traditionnellement à la cognition (e.g., psychologues, sociologues, anthropologues) et qui tentent a posteriori de se l'approprier, comme ils l'avaient fait avec la statistique et les probabilités! C'est donc un premier signal indicant que les éducateurs doivent s'y intéresser: il n'y a pas de fumée sans feu. La résolution de problèmes ainsi perçue

implique la mise en branle de tous les éléments requis pour la quête de la connaissance et la recherche d'une meilleure formation de base. Ainsi, en ne considérant que les processus, nous constatons que l'action de résoudre un problème fait appel à tout un ensemble de processus mentaux et intellectuels qui caractérisent l'humain. En choisissant les problèmes avec un minimum d'attention, ou en laissant l'élève le faire, il nous est possible de mettre en marche tous les processus essentiels et utiles à l'apprentissage, et en combinant cette démarche avec le projet d'élèves, nous visons et atteignons les buts et finalités de l'école.

Il ne faudrait pas oublier que l'appel à la résolution de problèmes dans les programmes d'études, dans ISI par exemple, simule d'une manière unique le fonctionnement de tout l'être humain, rapprochant l'expérience scolaire de celle de la vrai vie et donnant alors un «sens aux murs de l'école» et permettant de franchir le «mur du sens».[1] La difficulté est d'introduire à l'école une telle approche, étant donné le caractère souvent conservateur de la gestion scolaire; c'est pourtant possible puisque des groupes d'enseignants et d'élèves le font, et ce de plus en plus fréquemment. Par contre, les difficultés et les barrières (quelquefois artificielles) sont aussi nombreuses.

La résolution de problèmes a sa place dans la classe; cependant, il y a deux types d'activités dans une classe: les activités et les problèmes d'apprentissage, et les activités et les problèmes d'enseignement. La relation entre les deux est intime et elle peut être le garant de la réussite; il est donc impossible de parler de l'un sans parler, directement ou indirectement, de l'autre. Ceci a pour résultat de rendre l'approche basée sur la résolution de problèmes difficile, complexe, exigeante et souvent insécurisante. Il faut éviter que le cadre de la compréhension des éléments qui caractérisent la résolution de problèmes et de l'intervention pédagogique, ainsi que le cadre de l'évaluation soient trop rigides. Le recul est utile, mais il faut foncer et prendre les risques qui s'imposent; le réalisme est de rigueur lorsque l'on est dans la tranchée de la classe.

On relira avec intérêt les pages du programme d'études ISI qui concernent les activités et l'atteinte de plusieurs objectifs, sans que l'application [**activité → objectif**] explicite entre les deux soit donnée (Cf. pp. 14-17, 21, 50, 59 du programme), ainsi que les documents

---

[1] L'expression, bien qu'elle ne soit pas lui, est utilisée par Jacques ARSAC pour situer sa conclusion quand il parle des machines à penser et de l'intelligence artificielle, mais aussi du sens des choses et de la connaissance. C'est un point de vue intéressant venant d'un routier expérimenté de l'enseignement de la programmation et de l'informatique, qui s'intéresse, depuis un certain temps à l'intelligence artificielle. Jacques ARSAC, LES MACHINES À PENSER: DES ORDINATEURS ET DES HOMMES, Éditions du Seuil, Paris,1987.

traitant des projets d'élèves et de l'évaluation. Au risque de répéter ce qui a déjà été dit, il faut souligner ici que ce qui doit d'abord guider l'enseignement, ce sont les objets, et non les objectifs; ces derniers ne sont que des cibles.

3.1 Une définition de travail de la résolution de problèmes

> ***Résolution de problème*: Art et action de reconnaître une situation imparfaitement connue et d'enclencher une suite appropriée d'activités menant à une situation finale distincte de la situation initiale et qui soit satisfaisante.**

Cette définition reprend et regroupe certaines des idées émises quant à plusieurs notions ou appréhensions sur certaines représentations du concept; elle réflète l'état actuel de la recherche dans ce domaine, à savoir qu'il n'y a pas une définition satisfaisante pour tous et toutes, ou pour toutes les situations, et qui soit définitive.

Nous avons soulevé l'idée d'un morphisme entre les deux discours tenus en relation avec la résolution de problèmes, selon que le discours est néo-informatique ou qu'il est psycho-pédagogique (voir p.10, Remarque 2). Nous avons également mentionné les étapes majeures d'une résolution de problèmes (voir 2.6). Ces deux passages devraient être relus à cette étape-ci, car ils mettent en perspective la définition proposée et la compréhension en fonction du discours et de l'application, c'est-à-dire, l'univers du discours et de l'application.

Nous l'avons dit et nous le répétons: avant de mettre en marche une activité planifiée de résolution de problèmes, il faut réaliser qu'il y a une situation problématique (existence) et ensuite vouloir la solutionner (motivation). Sinon, l'activité sera peu enrichissante sur le plan de l'acquisition de connaissances et de bonnes habitudes de travail.

Souvent, les étapes premières que sont la *description et l'analyse du problème* sont groupées et faites en concomitance; des objectifs y sont associés:

- reconnaître les éléments définissants du problème;
- grouper ces éléments en classes de manière à en tirer des informations supplémentaires;
- présenter les informations à l'aide de graphiques, de graphes, d'expressions mathématiques ou alphanumériques (textes), de structurogrammes, etc.;
- déterminer quels sont les éléments connus et quels sont les éléments inconnus à obtenir, de façon à pouvoir définir l'objet final qui est recherché (il peut en exister plus d'un) et les objets intermédiaires requis;
- établir et représenter sous plusieurs formes (si nécessaire) la structure logique du problème;

- établir une première planification des moyens qui seront requis pour résoudre le problème;
- énoncer des objectifs de travail en fonction de la cible visée.

La troisième étape, *le choix et l'application d'un scénario de solutions*, consiste à relier les objectifs des étapes et l'objectif final avec les informations disponibles, par l'élaboration d'un plan systématique qui contiendra un agencement, qui sera le plus rigoureux possible, des outils à utiliser en regard des connaissances de la situation; l'élève devrait être en mesure de:

- procéder de façon méthodique dans la spécification des caractéristiques des éléments de la solution au problème, et aussi de sa structure globale;
- faire appel à ses aptitudes à concevoir et à structurer des plans de systèmes de solutions, en somme des «résolveurs de problèmes»;
- reconnaître les algorithmes et les heuristiques à utiliser, et au besoin, créer des outils spéciaux et se donner des moyens nouveaux pour la situation donnée;
- d'identifier les objets bien connus et les actions fiables, ainsi que les objets moins connus et les actions moins fiables, afin de percevoir la plage totale du problème et de sa solution;
- formuler des hypothèses (au besoin) et faire appel à la logique pour les vérifier;
- connaître les logiciels et les matériels qui pourraient servir: n'utiliser que les plus appropriés et tenter d'en utiliser une grande variété;
- d'utiliser judicieusement ces outils pour faire et faire faire (aussi «le faire faire faire») les actions requises et spécifiées dans le plan;
- demeurer conscient des limites de l'environnement utilisé et des processus choisis pour la solution du problème;
- voir les impacts possibles du système global sur tout ce qui est connexe à la situation problématique et à la solution du problème: autres disciplines, marché du travail, école, personnes plus directement concernées ou qui pourraient l'être, équipements et logiciels informatiques, connaissance personnelles, valeurs sociales, complexité et contraintes de la situation, etc.

La *vérification* est une opération continue, mais qui connaît un temps fort une fois terminées les autres étapes de la stratégie de résolution de problèmes; il s'agit donc une étape essentielle, qui permettra à l'élève:

- d'appliquer les connaissances nécessaires pour vérifier la validité logique du travail accompli à chacune des étapes, et pour l'ensemble de la solution;

- d'acquérir de nouvelles connaissances ou compétences;
- d'appliquer les connaissances nécessaires pour bien choisir et bien utiliser les outils informatiques, en particulier en ce qui concerne le programme global et les sous-programmes utilisés;
- d'obtenir une mesure de synthèse de l'ensemble du travail: identification et solution du problème, en termes de pertinence, d'exactitude, de robustesse, de généralisation et de «comment je ferais si c'était à faire à nouveau», etc.

Bien qu'il n'y ait pas d'étapes déterminées quant à la documentation de son travail, il est important que l'élève s'astreigne régulièrement (il faut prendre ou développer cette habitude) à consigner tout ce qu'il fait avec succès, mais aussi avec moins de succès. Le programme d'études ISI, le guide pédagogique et chaque document d'information insistent sur cet aspect fondamental de la science informatique et de sa pratique, dont les objectifs sont entre autres d'apprendre à l'élève à:

- expliquer clairement la situation en termes simples et justes;
- décrire exactement les états initiaux et les états terminaux, ainsi que les faits intermédiaires anticipés;
- présenter le problème et le plan de solution aux autres élèves et à ses professeurs, et en discuter;
- consigner régulièrement toute information jugée pertinente à la compréhension du travail accompli de sorte qu'un lecteur « de l'extérieur » puisse saisir de quoi il s'agit.

Les projets d'élèves, quand ils sont bien présentés, offrent une base de travail qui permet à l'élève et à l'enseignant ou à l'enseignante d'atteindre les cibles fixées aussi bien en fonction de l'enseignement que de l'apprentissage. Que la situation retenue dans le projet soit simple ou complexe, qu'il faille peu ou beaucoup de temps dans la réalisation du projet et la résolution du problème, ce sont les mêmes principes et les mêmes processus qui seront utilisés. L'effort fourni par l'élève à l'une ou l'autre des étapes habituelles de la résolution de problèmes doit être reconnu à sa juste valeur; l'enseignant ou l'enseignante devront porter une attention spéciale à chacun des élèves afin que ceux-ci ne perdent pas intérêt à ce qu'ils font et qu'ils ne se découragent pas devant les difficultés ou les échecs.

Si les projets sont adéquats, si les projets sont pris en charge par les élèves, si les élèves voient où ils vont en traitant le cas problématique, si les apprentissages sont perçus et compris et que l'évaluation est claire, si les élèves se sentent libres, alors ils pourront apprendre davantage et mieux comprendre ce qu'est l'apprentissage de la connaissance de

ce monde dans lequel ils vivent. Souplesse, jugement, créativité et imagination, équilibre approprié entre théorie et pratique sont autant de qualités nécessaires à l'enseignement d'ISI; si la rigueur est une caractéristique nécessaire à la connaissance, alors il faut penser à des niveaux ou à des types de rigueurs. Dans l'acte de programmer, il y a ce continuel aller-retour entre les méthodes algorithmiques et les méthodes heuristiques, entre l'exploration naïve et l'énoncé vrai en passant par la vérification d'hypothèses plus ou moins fondées, entre l'analyse (e.g., la décomposition en sous-problèmes) et la synthèse (e.g., la reconstruction du système intégral), entre l'«Eurêka!» et le «Ça ne fonctionne pas.».

Si nous revenons à la définition fonctionnelle de la *résolution de problèmes*, nous constatons qu'elle réflète certaines idées de base que nous jugeons nécessaires à la bonne compréhension du concept;

- *Art*, parce que la finesse et le plaisir sont présents, que la création, l'innovation et la découverte sont des moyens utiles quand il s'agit de trouver une solution;
- *Action*, parce qu'il s'agit d'une suite de processus dynamiques;
- *Reconnaître*, parce qu'il s'agit de saisir et d'appréhender par la pensée un objet;
- *Situation imparfaitement connue*, parce que l'objet et son contexte créent un état d'insatisfaction dans la pensée, et que leurs représentations ne permettent pas une classification bien définie;
- *Enclencher une suite appropriée d'activités*, parce que cet état d'insatisfaction doit être suivi par l'application d'une méthode contenant les éléments requis (le système) devant permettre de trouver la réponse au problème;
- *Menant à une situation finale distincte de la situation initiale*, parce que l'état final atteint doit être distinct de l'état initial observé; il doit y avoir une différence sensible entre le point de départ et le point d'arrivée. Cette différence constitue en quelque sorte une nouvelle connaissance;
- *Satisfaisante*, parce que les processus et le système doivent être valides (vrais, logiques) et que l'état final atteint doit procurer un sentiment de contentement; plus exactement, la différence entre la situation de départ et celle d'arrivée (la différence sensible) est une nouvelle connaissance qui permet de rétablir l'équilibre par le traitement de l'objet représenté.

Nous devrions maintenant avoir constaté que la première partie de ce document présentait en termes nouveaux et souvent abstraits, et avec un formalisme certain et voulu, la résolution de problèmes du point de vue de l'informatique contemporaine et de l'intelligence artificielle. Les remarques faites précédemment (Cf. pp. 9 et 10) et la représentation graphique du morphisme entre l'intelligence artificielle et la psycho-

pédagogie (Cf. p.11) incitaient à une lecture appropriée et prudente de cette partie du document. Par contre, dans la seconde partie, nous avons pris un ton plus familier qui peut paraître à première vue moins abstrait, plus clair, et mieux connu.

Il y une distinction fondamentale entre les deux modes de représentation de la résolution de problèmes, celui adopté par l'intelligence artificielle et celui adopté par la psychopédagogie. La science informatique et l'intelligence artificielle nous offre des moyens nouveaux pour apprendre: tantôt, il s'agit de moyens technologiques (graphisme, interfaçage, modes de représentation, microprocesseur rapide, mémoire, communication, logiciels, périphériques, travail en réseau [ajouts additifs des connaissances de chacun et de tous, disponibles en mode interactif par chacun et par tous], réseaux [le réseau informatique, dans ce cas]); tantôt, il s'agit de moyens relevant de la science informatique (langages diversifiés, récurrence, nouveaux paradigmes de programmation, diversification des possibilités de représentation de la connaissance, simulation en temps réel, puissance dans la recherche de régularité [pattern] dans les données numériques, mais aussi algébriques, géométriques, alphanumériques, textuelles, structurelles. Les généralisations qui s'en ensuivent mènent aux abstractions et aux structurations, et finalement à la modélisation et aux théories.

Et que dire de la transdisciplinarité (l'intégration des disciplines est un mythe!) que l'informatique en favorisant le travail à un niveau relativement abstrait et formel. L'informatique permet de choisir le niveau d'abstraction et de rigueur, et c'est précisément le choix du niveau d'abstraction et de rigueur qui lui permet d'être si applicable et si pratique pour toutes les autres disciplines. Elle s'apparente en cela à la mathématique.

Conséquemment, l'utilisation de l'informatique pour réaliser le projet de l'élève et pour résoudre le problème constitue un moyen privilégié d'acquérir des connaissances en informatique. L'informatique est une science parce qu'elle est constituée en structure qui portent sur des connaissances propres à l'exercice d'activités intellectuelles qui seront généralisables aux autres disciplines.

3.2 Des illustrations

Présenter des cas détaillés de projets d'élèves pour illustrer la façon dont se fait la résolution de problèmes pose un double défi: d'abord, le programme ISI insiste sur l'intérêt qu'il y a à favoriser la sélection des projets par les élèves (leurs projets) et il serait moins approprié de faire ce choix à leur place; ensuite, les illustrations que nous choisirions seraient artificielles dans le sens où elles présenteraient une facette plus ou moins exacte du processus, car nous nous «introduirions» alors dans la tête d'une autre personne pour travailler à sa place! La simulation ainsi obtenue poserait une difficulté de crédibilité et de

validation. Cependant, nous pouvons examiner une autre possibilité d'illustrer de façon concrète certaines des idées présentées dans le présent document.

Cette possibilité repose sur deux actions: la première consiste à faire appel à un ensemble restreint, mais représentatif, d'authentiques projets (une douzaine) dans lesquels les élèves ont eux-mêmes résolus un problème, projets qui seraint mis à la disposition des enseignants et des enseignantes. La seconde consiste à chercher dans la documentation existante: documents, ouvrages ou manuels scolaires, des exemples de projets d'élèves pour les élèves qui auraient des difficultés à choisir un problème. Cela permettrait aux élèves qui n'ont pas très bien compris comment définir leur projet de commencer à travailler quand même et à ceux qui n'ont pas confiance en eux de faire leurs premiers pas. Cela pourrait également permettre de trouver des projets pour les élèves démotivés. Tout cela favorise l'insertion pédagogique d'une activité qui prend l'allure d'un exercice, et qui ensuite, espérons-le, incitera ces élèves à à fournir l'effort nécessaire à la définition de leur propre projet.

Déjà les manuels approuvés pour le programme ISI contiennent, sous des formes différentes, des commentaires et des suggestions de pistes intéressantes et des suggestions de cas pouvant servir d'illustrations de projets d'élèves en milieu scolaire. Trois manuels sont à ce jour approuvés pour l'enseignement d'ISI (Voir dans la bibliographie: ARCOUET, COULOMBE, PETITGUILLAUME); il est intéressant d'examiner pour chacun de ceux-ci l'approche retenue, ainsi que les informations utiles à la résolution de problèmes. Cette première approche, bien qu'incomplète, revêt quand même une facette préparatoire à l'analyse et à l'utilisation de l'ensemble des «cas types» qui viennent compléter l'illustration de l'approche fondée sur le projet d'élèves traités par la résolution de problèmes. Les trois manuels que nous avons choisis ne couvrent l'ensemble de la question. Les lecteurs trouveront ailleurs des informations et des idées également valables qui pourront leur être utiles.

3.2.1 À vous de jouer: Introduction à la science de l'informatique

Le premier manuel examiné s'intitule À VOUS DE JOUER: INTRODUCTION À LA SCIENCE DE L'INFORMATIQUE, d'Alain TAURISSON et d'André PETITGUILLAUME. Pour bien saisir la présentation adoptée par les auteurs, il faut d'abord lire et garder à l'esprit l'avant-propos et en particulier la page VI où le cadre du manuel est expliqué; ce cadre nous permet de retrouver les éléments pertinents à la résolution de problèmes qui sont, dans une certaine mesure, en filigrane dans le manuel. Dans chacune des leçons (1 à 9), il y a des «projets restreints fournis» à l'élève, qui s'apparentent à des exercices; ces petits projets permettent une introduction graduée à une ou plusieurs méthodes de

travail. Il est clair que l'enseignant pourrait allonger la liste en ajoutant d'autres projets analogues, agrandissant alors le domaine des projets possibles. Ces projets de la première partie (pp. 3-125) mènent — du moins c'est l'intention des auteurs — dans un second temps à une méthode générale fondée sur des projets plus importants que l'on trouve traités dans la seconde partie (pp. 129-176). Finalement, une tentative de généralisation sous forme de synthèse est faite dans la troisième et dernière partie du livre (pp. 177-216) qui montre comment l'environnement informatique peut être utilisé dans la résolution d'un problème.

Examinons un cas plus en détail; le lecteur consultera le livre pour l'exposé complet. La situation proposée — le problème est déjà posé — est la suivante: «*Dessiner un arbre qui ne soit pas symétrique ... poussé pas le vent.*»

Le premier geste est de clarifier la situation en reconnaissant les informations données et en les réunissant ensuite pour déterminer les contraintes. «Un arbre», donc un tronc et des branches, et comportant éventuellement des feuilles ou des aiguilles; «pas symétrique», donc une distribution de ces éléments qui soit conforme au concept de symétrie, ou à son contre-concept, l'asymétrie. Sans aller dans les détails, il est évident que l'élève devra vérifier qu'il connaît bien les caractéristiques qui définissant la symétrie; il peut pour ce faire consulter un livre, un enseignant ou des confrères de classe. «Poussé par le vent» indique que le vent modifie probablement la forme de l'arbre (idées de variable dépendante et indépendante, de fonction, de cause et d'effet, etc.). Il y a donc cette première analyse à faire, surtout en ce qui concerne le décodage de l'énoncé, mais également de la nature graphique ou pictographique que l'on peut trouver dans l'énoncé (la production d'un dessin par la programmation). Il s'en suit que l'idée de représentation des connaissances en cause surgit dès la lecture de la situation, et qu'elle prend de l'importance dans l'analyse des concepts fournis et sous-jacents; la description détaillée et juste de la situation conduit à une définition du problème qui pourrait ressembler à ceci: «Je dois dessiner un arbre formé d'un tronc, de plusieurs branches, qui soit penché d'un certain côté; l'arbre dessiné n'aura pas de feuilles, ni de racines, et sa forme sera non symétrique. Il me faut conséquemment fixer des détails qui me permettront de satisfaire ces critères. J'ai également de la latitude quant à un certains nombres d'éléments.»

Cette étape comporte donc des descriptions à finaliser ou à comprendre, des concepts à connaître ou à appréhender, ainsi que des choix à faire; de plus, elle sous-tend explicitement l'idée de la décomposition du problème en sous-problèmes plus facile à traiter, de la réunification des composants en un tout, et l'idée de sortie et de retour par rapport à des états initiaux et finals (de fin d'une étape de travail). Finalement, elle comporte nécessairement l'idée d'une vérification de l'arbre qui sera faite en soumettant la solution (le

dessin) au test de la description de la situation présentée et du problème posé, ainsi qu'à l'examen de l'exhaustivité des cas possibles, de sorte qu'il n'y ait pas de contradiction du genre «... ce type d'arbre ne fonctionne pas!». Le plan de solution à faire indique également qu'un processus permettant de réaliser le projet — sa solution — est essentiel, possible et à la portée de l'intervenant.

On retrouve dans cet exercice, d'apparence simple, plusieurs des éléments caractéristiques de la résolution de problèmes; le lecteur se reportera à la section **2**, intitulée **«Examen des principaux éléments en cause»**, pour établir l'association entre les dix premiers éléments définissants qu'on y trouve et l'étape décrite dans les quelques paragraphes précédents.

L'examen du second cas, le jeu de NIM, présente une situation semblable, mais qui comporte des variantes. Le contenu est a priori bien défini par l'objet en cause, le NIM; il faudra donc que l'élève s'organise pour connaître le jeu , avant même de commencer le traitement informatique. La marge de manœuvre est limitée et des bornes sont posées, implicitement et explicitement. Le nombre des éléments dont il faut tenir compte est plus grand, plus «arithmétique», ce qui implique un contrôle constant des liens qui peuvent être établis entre-eux, car le problème est plus complexe que celui de l'arbre à dessiner. Ceci n'exclut pas une certaine souplesse dont la nature peut être différente de celle admise dans le cas précédent: elle porte sur des paramètres que l'on peut laisser dans l'aléatoire (plus exactement dans du pseudo-aléatoire) que le programme peut traiter (ex., des indications sur le nombre de bâtonnets).

Finalement, le troisième cas présenté est essentiellement un sujet arithmétique: la relation d'ordre sur un ensemble de nombres (entiers?). On aborde ici un nouveau domaine, qui a ses particularités propres: faits, concepts, règles et lois, méthodes, processus, etc.; bien que la latitude laissée à la créativité, qui dépend de la nature et de la portée même du problème, puisse paraître restreinte, il y a autant d'espace libre, mais il se trouve ailleurs ... dans la définition du processus et dans sa planification. Le niveau de conception est également d'un autre ordre: il est formel.

On doit noter pour ces deux derniers cas que l'association proposée pour le problème de l'arbre tient toujours. De plus, l'enseignant ou l'enseignante, ainsi que les élèves, peuvent créer une série de nouveaux projets à réaliser en modifiant le contenu, les objets et les spécifications de chacun des trois cas types. Ainsi la formule:

«*Dessiner* ...[Fournir un objet appartenant au règne végétal]»

autorise une série de projets, qui peut être augmentée en modifiant la formule de la façon suivante:

«Dessiner ...[Fournir un objet appartenant au règne animal]»

et en prenant en compte les modifications nécessaires.

Si la nature de la situation implique des actions qui mènent à la solution, il faut aussi constater que la situation «pré-détermine» des outils qui sont plus appropriés que d'autres pour y parvenir. Ainsi, on pourra admettre que LOGO est un bon outil pour les trois cas, en particulier pour le premier, mais que d'autres langages permettent de trouver la solution (ex., BASIC, APL, Pascal). Le langage de programmation est sans aucun doute l'outil le plus puissant, parce qu'il offre beaucoup de possibilités, particulièrement sur le plan des apprentissages et des gains cognitifs, et parce qu'il permet la création de nouveaux outils. En contrepartie, il peut à l'occasion exiger davantage de la part de l'utilisateur. Mais, la tendance actuelle est à l'usage d'environnements de travail puissants (matériels et logiciels divers) qui donnent le plus de chances de succès tout en minimisant les inconvénients.

3.2.2 Projets et programmes: Introduction à la science de l'informatique

Le second manuel que nous avons examiné s'intitule: PROJETS ET PROGRAMMES: Introduction à la science de l'informatique, de Michel ARCOUET, Laurent BÉLISLE et Jean-Claude ORIOL. L'approche est ici différente de celle adoptée par le manuel de Taurisson et Petitguillaume; en effet, le manuel comporte une section portant entièrement sur les projets d'élèves et sur les esquisses de solutions correspondantes. Il comporte aussi une section traitant de certains problèmes pouvant survenir pendant le travail dans laquelle on trouve des techniques de résolution de problèmes sur les problèmes. Ceci est particulièrement important; tout «résolveur de problèmes» doit évaluer et valider l'ensemble du processus et du système; le traitement des erreurs revêt donc une grande importance en informatique, et encore plus lorsqu'il est question d'apprentissage, car l'apprentissage est plus englobant que l'atteinte de la réponse même. Naturellement, il est queston dans le reste du manuel des projets et de leur traitement informatique. On trouve dans les pages 24 et 25 du manuel le cadre de référence indiquant la démarche proposée par les auteurs pour réaliser un projet; cela constitue une planification primaire et générale du processus de résolution de problème.

Pour ceux et celles qui seraient préoccupés par les difficultés posées par le choix et l'usage d'un langage de programmation, les auteurs illustrent à travers un projet dont la solution est présentée selon différentes formulations comment la solution (ou les solutions) — ici, le programme — apparaît en BASIC, LOGO et Pascal. Le choix du langage, il faut le rappeler, est secondaire dans le sens où un langage permet de résoudre résoudre un problème; ceci ne signifie pas que le langage n'a pas d'importance. Au contraire, il est de toute première importance; l'outil puissant permettra de bien résoudre la situation

problématique, alors que l'outil pauvre risque de cacher des solutions intéressantes et de handicaper l'élève dans sa recherche de la solution.

Le premier projet pose un problème qui montre la variété de possibilités qui existent dans le traitement d'une situation. La situation présentée est celle-ci: *«Le jeu du nombre caché est un jeu qui consiste à deviner un nombre caché.»* Devant cette description, les réactions peuvent être diverses; mais, il est certain que la situation n'est pas suffisamment précise pour tous et toutes, ou presque, pour que les faits et les concepts présents permettent de mettre en marche le processus de résolution d'une manière claire; il faut donc obtenir plus d'informations et définir entre usagers, s'il s'agit d'une projet réalisé en équipe, des règles et des limites (contraintes, paramètres, lois, etc.). Le projet 2 est la suite du premier — *«L'ordinateur essaie de trouver un nombre caché* ***par un joueur****.»* — et vient offrir une plage de travail plus large et plus intéressante en insérant une dimension nouvelle dans la situation; les enseignants et les enseignantes ont intérêt à exploiter ce type d'«agrandissement des situations» qui agit sur le domaine et sur les bases de faits au premier niveau de la description ou de l'appréhension de la situation qui pose problème. Dans le même ordre d'idée, le jeu du tic-tac-toc constitue une problème classique dont la résolution (nous devrions dire «les multes résolutions reconstituées...») permet de nombreuses activités qui touchent essentiellement les aspects pertinents de la résolution de problèmes:

- bien définir les connaissances reliées au projet et reconnaître les premières étapes à réaliser, donc représenter la connaissance, connaître les concepts, décoder et décrire à l'aide du langage naturel;
- ensuite commencer une première simulation pour voir comment le tout fonctionne et si on a compris, donc définir de façon plus précise en faisant appel à la langue certaines étapes de la résolution du problème et examiner si les réquisits sont disponibles;
- la nature du jeu entraîne une précision des échanges entre les joueurs et la machine, donc une interface-usager qui appelle des approches particulières, l'identification ou la construction d'outils complémentaires, et la prise de conscience qu'il s'agit d'un système.
- la réponse finale réside dans un programme qui joue correctement au tic-tac-toc, qui est donc basé sur plusieurs types et domaines de connaissances et qui a exigé de la part du « solutionneur » qu'il soit constamment conscient de l'écart entre ce qu'il connaissait et ce qu'il devait apprendre...parce que le projet du jeu de tic-tac-toc et son processus de solution soulevaient constamment de nouveaux problèmes à résoudre!

Cette première collection d'illustrations fait appel, entre autres, à un procédé ou à une méthode appelée l'analyse descendante, dont nous avons parlé précédemment. Ceci montre comment une situation peut être abordée avec souplesse, mais en utilisant des outils et des méthodes générales qui sont souvent utiles pour résoudre des familles de problèmes. Parler de structures de programmes et de données (les «informatiques» utilisées dans le programme, non celles déterminées par l'analyse de la situation) consiste à traiter de deux entités distinctes, qui sont interdépendantes cependant quand on fait appel à des langages traditionnels (Cf. section 2.10). Cependant, peu importe le langage et l'environnement de programmation utilisés, il faudra traiter avec beaucoup d'attention la partie portant sur la programmation: respecter l'intégralité de la situation fournie et, éventuellement, décrite avec plus de précision; fournir une représentation structurée de cette situation selon divers modes de représentation; commencer la rédaction du programme; suivre le lien entre les données du problèmes (l'état initial), leur évolution après de nouvelles représentations des connaissances (les états intermédiaires) et leur traitement final tel qu'il apparaît dans la solution au problème (l'état final).

Nous retrouvons dans ce type de problème l'idée importante de système que nous avons déjà abordée, en particulier aux pages 34, 35, 39 et 40. Les problèmes qui favorisent ce genre de travail sont faciles à trouver dans le manuel, puisqu'ils sont analysés dans l'annexe A; en voici quelques exemples:

- les jeux de labyrinthe, de «Mastermind», de cartes, d'échecs, ainsi que les jeux de courses d'automobiles, de baseball, de volleyball, de football, de hockey;
- les cas de codage de situations crypto-arithmétiques;
- les problèmes demandant la constitution de bases de données: carnet d'adresses, de rendez-vous, de recettes, d'inventaires, ainsi que les cas de gestion de tournois, de voyages, de comptes (comptabilité);
- toutes les situations où une compilation statistique est nécessaire (sport, notes de classes, présence à des activités);
- les problèmes de gestion d'écoles et d'activités connexes (horaires, dossiers, déplacements);
- certains problèmes appartenant directement au domaine des mathématiques et dans esquels il y a des nombres, des mesures, des transformations, etc.

Tous ces groupes de problèmes permettent de faire des activités diverses dont les résultats sont aussi diversifiés; ils permettent à des degrés différents d'atteindre certains objectifs visés et de mettre en pratique les habiletés de résolution de problèmes. Le choix

d'une bonne variété de problèmes est donc important: variété dans la qualité et la richesse. Cela s'oppose à la juxtaposition de nombreux projets identiques. L'expérience de l'enseignant et de l'enseignante est déterminante pour la réussite de l'enseignement et de l'apprentissage; un bon projet comportant vingt activités bien faites est souvent préférable à vingt projets comportant une seule activité![1]

Les concepts de système et de dynamisme dans le processus réapparaissent d'une manière de plus en plus importante au fur et à mesure que les élèves acquièrent de l'expérience eux aussi, et que les projets — et leur réalisation — gagnent en importance et en complexité.

Finalement, un autre ensemble de cas types est donné sous les rubriques «tâches que peut accomplir l'ordinateur», «graphisme», «fichiers». Il s'agira de permettre par ces cas d'aborder la manipulation de l'information comme une opération à part; en effet, l'informatique est la science du traitement automatique de l'information sous la direction d'une personne. Or, résoudre un problème implique la manipulation, la transformation, la recherche, la création d'informations; représenter une connaissance ... sous une forme différente (par ex., de la langue naturelle vers le symbolique-iconographique, du numérique vers le graphique), faire subir une transformation algébrique à un ensemble de données (par ex., obtenir une fonction décrivant une situation: début de modélisation), déterminer à partir d'une banque de données brutes et larges un sous-ensemble de données propre au problème, qui permettra de passer à une étape assurant la solution du problème.

Enfin, la section portant sur la «récursivité» aborde une méthode de l'esprit ou un processus fondamental dans toute résolution de problème: le raisonnement par récurrence. Plusieurs des projets esquissés peuvent être résolus en faisant appel à un moment ou à un autre à la méthode récursive; comme celle-ci est puissante et robuste sur le plan de la logique, les enseignants et les enseignantes devraient choisir de préférence des projets où elle peut être utilisée. Ils trouveront toutes les informations nécessaires dans les trois manuels mentionnés dans cette section; ou dans des ouvrages de logique, de mathématiques, de sciences, de philosophie et d'informatique.

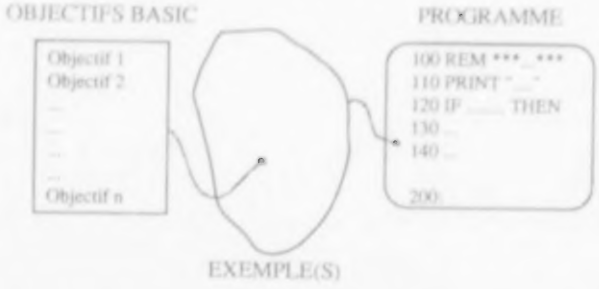
---

[1] Il s'agit ici d'une paraphrase de l'Auteur dérivée d'un commentaire que faisait régulièrement un mathématicien travaillant dans la didactique de cete discipline, Edward G. BEGLE, de l'université STANFORD: «Dans l'enseignement, un professeur qui a *une expérience de vingt ans* n'a pas nécessairement une expérience équivalente à celle du professeur qui a *vingt fois l'expérience d'une année*.» Comme il avait raison!

3.2.3 La programmation structurée en BASIC

Le troisième manuel examiné est celui de Claude COULOMBE et de Richard YOUNG: LA PROGRAMMATION STRUCTURÉE EN BASIC. Les auteurs ont choisi une approche différente de celles adoptées dans les deux autres manuels, bien qu'elle s'en rapproche à certains points de vue. En définissant une méthode d'analyse des situations problématiques, ADAPTEC, ils indiquent une séquence d'opérations à faire qui mène à la création d'un programme, qui constitue la solution. Les exemples des problèmes et des programmes donnés — des exercices — sont traités à l'aide de la méthode ADAPTEC; c'est ainsi que la liste des programmes donnée à la page 401, si correctement interprétée, donne des exemples de réponses à des problèmes et à des projets. En se servant de ces programmes comme exemples, les enseignants et les enseignantes peuvent trouver une première famille de projets résolus, qu'il est facile de modifier dans un second temps.

Les auteurs indiquent comment trouver dans ce langage (BASIC) des moyens permettant de combler les lacunes que l'on pourrait y trouver, et aussi d'exploiter certaines de ses facettes afin de se rapprocher des pratiques souhaitées: par exemples, le «brainstorming», la présentation commentée de l'«itération et de la répétition», le lien entre la «programmation modulaire» et la «décomposition en sous-problèmes». Le lecteur devra porter une attention particulière à l'approche adoptée en ce qui concerne les objectifs; les objectifs visés et définis en fonction du langage BASIC (les instructions) sont appliqués dans le programme par l'intermédiaire de l'exemple choisi.



Cette approche est plus contraignante; par contre, elle peut constituer un point de départ sécurisant pour qui débute ou qui serait dans une phase de transition vers des environnements puissants, qui supportent mieux les principes de résolution de problèmes décrites dans le manuel (un élargissement positif de leur enseignement).

Examinons plus attentivement un cas de difficulté moyenne (le degré de difficulté est fort variable, on s'en doute!) traité à la page 141: *«Le lancer d'un dé»*. Voici une situation connue, mais qui nécessite d'être analysée pour en préciser le sens. Le «brainstorming» permet de dire ce que le lancer d'un dé signifie: créer un domaine de nombre de 1 à 6, choisir un nombre d'une manière qui soit le plus aléatoire possible, prévoir des espaces de temps, dire quel est le nombre choisi, montrer le tout... L'algorithme vient décrire encore plus précisément le lancer du dé en y incorporant des éléments proches de la programmation qui correspondent à des étapes du processus de résolution de problèmes. On constate que l'algorithme donné reflète une très bonne connaissance du lancer du dé et, éventuellement, de sa solution par un programme; cette remarque nous incite à penser que l'algorithme, les organigrammes et les ordinogrammes sont plutôt des outils de synthèse plus que d'analyse) pour un situation déjà connue![1] La dernière phase du processus menant à la réalisation du projet informatique est la description en code du programme final.

Ce type de cas peut donner lieu à plusieurs situations analogues; il constitue alors une source qui aide la constitution d'une banque de projets.[2] D'ailleurs, en examinant les questions posées dans la section Test (pages 145-148), on constate que certaines sont en fait des cas appartenant à la même famille. Les élèves sont souvent habiles à imaginer des projets dérivés d'un exemple; il est souhaitable qu'ils puissent exercer cette tâche en groupe, parce que cela constitue une occasion d'échange de connaissances où ils pourront apprendre à définir les situations-problèmes et leurs états possibles.

Le problème proposé à la page 334 est plus complexe: il s'agit de construire en BASIC un microsystème expert. Dans ce cas, c'est le produit désiré qui est présenté par une brève explication de l'objet en question. Le «brainstorming» porte davantage sur l'aspect du produit désiré que sur la situation de départ; il en résulte une modularisation qui se présente sous la forme de pseudo-blocs, chacun constitué d'un algorithme et d'une traduction en BASIC. Le résultat est donné par la présentation de l'exécution. La section Test permet encore une fois de constituer des banques de projets. Il faut noter que les cas ou les exercices sont suivis de commentaires; tout au long de la résolution d'un problème, la

---

[1] Il faut distinguer le graphe de l'algorithme et de l'ordinogramme (et autres variantes); le graphe est un moyen général de représentation des connaissances et des espaces d'états qui peut conduire à la détermination des étapes du processus de la résolution d'un problème (par ex., la décomposition du problème en sous-problèmes).

[2] Cette idée, si appliquée, rejoint plusieurs point soulevés à la section 2, particulièrement les notions de banques de données, de connaissances et de faits, de classes de situations et de problèmes réels, de système, d'isomorphisme, de reconnaissance d'éléments algorithmiques et heuristiques, etc.

documentation (par ex., en notant tous les faits significatifs, en faisant des commentaires appropriés) du projet est d'une importance première; il faut se le rappeler constamment.

Commentaires. Les enseignants et les enseignantes (les élèves également) peuvent donc trouver de nombreuses situations pour illustrer des cas de problèmes à résoudre pour les projets d'élèves dans des manuels et autres documents.[1] On peut utiliser ces cas, soit directement — par la reprise du même cas, ou indirectement — par la modification de ces cas. Ce qui importe, c'est de laisser une place à l'imagination créatrice par une intervention discrète et didactiquement fondée; pour certains élèves, il faudra fournir des thèmes de projets sous la forme d'exercices, et graduellement ouvrir le domaine de sélection. D'autres pourront commencer avec leur propre thème de projet, qui peut être complexe. L'expérience démontre que l'intervention pédagogique doit être discrète pour que l'on puisse intervenir en fonction de l'élève, de l'enseignant ou de l'enseignante (c'est par la relation maître-élève que l'apprentissage prend toute sa signification), du projet, de l'environnement informatique , des contraintes de l'organisation scolaire, etc. En d'autres termes, il faut éviter de choisir une stratégie pédagogique qui empêche de faire les ajustements nécessaires en ne définissant qu'une unique source de difficulté vers laquelle tous les efforts seront concentrés.

Enfin, il appert que nous pouvons disposer d'un nombre suffisant de projets ou d'idées de projets pour entrevoir des possibilités réelles de travail selon l'approche adoptée dans le programme ISI; il n'est pas vain de commencer à faire des choses dans ce sens pour les débutants, et pour ceux qui auraient déjà entrepris dans une démarche du même type, et il est normal de croire en une situation où les problèmes qui sont à résoudre sont à la portée des élèves. En ce qui concerne les facteurs qui nuisent à la résolution des problèmes proposés aux élèves ou choisis par ces derniers, il faut ajouter aux conditions matérielles, financières, pédagogiques et informatiques, que nous avons maintes fois soulignées, les conditions de travail, la nature même du problème, ainsi que l'intérêt de l'élève à trouver une solution. La possibilité de pouvoir profiter de *cas réels documentés* constitue un pas complémentaire (et de plus) vers une meilleure compréhension de la résolution de problèmes dans un milieu scolaire.

---

[1]De nombreux ouvrages traitant de la programmation, des langages, de la méthodologie, etc. fournissent des listes de problèmes, d'exercices, de programmes, d'illustrations et, quelquefois, de problèmes résolus dont le processus menant à la solution est explicité. Il faut les consulter et s'en inspirer, mais ne jamais en copier bêtement les programmes pour les exécuter sur la machine!

3.3 L'apport de l'informatique aux pratiques de l'esprit

Nous avons insisté sur la nouvelle approche de la résolution de problèmes que favorisent l'ordinateur et l'informatique; nous avons décrit d'une manière détaillée, et parfois quasi-répétitive, les étapes, les approches et les concepts utilisés; nous avons discuté des impacts de l'intelligence artificielle dans le monde de l'informatique à l'école et à la pédagogie en général; nous avons abordé le lien entre le domaine de l'informatique et le domaine de l'apprentissage. Mais il reste quelques points qu'il est essentiel d'aborder, tout au moins de poser comme éléments de discussion et de réflexion: l'apport de la programmation, l'automatisation des opérations, la nécessité de l'effort et de la persistance, les liens avec les autres disciplines et les perspectives d'avenir.

3.3.1 La programmation

La programmation est au coeur du programme Introduction à la science de l'informatique, pour ne pas dire qu'elle en est le coeur; historiquement, quand on parlait de programmation vers le milieux des années 70, il s'agissait davantage de la maîtrise d'un langage de programmation connu et utilisé à ce moment, et qui existait dans le secteur des affaires et du commerce. Il était alors question de langages proches de la machine, et ce pour plusieurs raisons, entre autres, la nature même des ordinateurs, le niveau de connaissance et de l'expérience acquise dans un environnement de programmation. Au début des années 80, il devint possible d'envisager une première ouverture sur ce plan; des langages «nouveaux» apparaissaient, les ordinateurs devenaient plus puissants, la recherche et la pratique faisaient évoluer vers une meilleure connaissance. Un pas de plus allait pouvoir être fait, nonhobstant les contraintes et les réalités d'implantation et d'application.

Pour le début des années 90, nous pouvons ajouter positivement à ces remarques; la génèse de l'informatique indique que les langages informatiques s'éloignent de la machine et qu'ils se rapprochent du langage naturel, c'est-à-dire, d'un langage parlé par l'homme. Ils sont à notre disposition pour étendre nos moyens de travail intellectuel et pour nous aider à résoudre des problèmes plus complexes ou tout simplement nouveaux. En effet, ces langages sont près (du moins, ils les reflètent) des processus cognitifs et constituent une extension de notre capacité à réfléchir sur des problèmes et, par conséquent, à les résoudre. L'informatique oblige de moins en moins à penser comme une machine. C'est ce qui nous permet d'affirmer ailleurs qu'ISI est un mode de pensée. Les nouveaux langages de programmation existent parce que les recherches et les développements en informatique ont indiqué les avenues à prendre pour sortir du cul-de-sac dans lequel les langages de la première génération nous avaient conduits.

Les nouvelles technologies, appuyées par les procédés de fabrication requis, ont permis des ordinateurs à la mesure de nos ambitions et, surtout, de nos besoins: mémoires de tous genres, en quantité et en qualité; microprocesseurs rapides, efficaces et microscopiques; écrans assurant de bonnes visualisations; interfaces graphiques simples; périphériques et accessoires assurant le support adéquat des informations (par ex.: CD-ROM, imprimantes graphiques et au laser, mini-disques, télécommunication); et tout ceci à un coût en nette régression par rapport aux anciens ordinateurs!

Et notre expérience commence à donner des résultats, au moins le potentiel est là; ainsi, le *comment mieux faire* a pris le pas sur l'initiation à la machine, les qualités des environnements sont davantage prises en compte, l'ordinateur et ses logiciels, en particulier les langages de programmation, sont de plus en plus considérés comme un tout, un environnement de travail, les demandes et les besoins se font en fonction des situations et presque tous (du moins, de plus en plus) reconnaissent maintenant la nécessité de joindre une démarche prospectiviste à la démarche réelle de chaque milieu; on ne peut que se réjouir de ces changements.

Cependant, il reste beaucoup à faire: retenons l'apport de la programmation à l'aide d'un langage moderne pour la formation générale des jeunes. Le programme ISI plaçait les activités de programmation au premier plan de sa stratégie, et il maintient ce choix. En effet, programmer implique à mettre en marche une série d'activités dont la relation immédiate et directe avec la pensée ne peut que contribuer à la formation de cette dernière chez les élèves. La nature même de la science informatique repose sur cette caractéristique; son application et son utilisation reflètent donc cette dimension au plus haut point, et peu d'autres disciplines peuvent prétendre en faire autant pour la formation de l'esprit et de la pensée. Si l'enseignement informatique porte bêtement sur le langage de programmation et la mémorisation de sa syntaxe, alors les gains risquent d'être pauvres et sans lendemain; s'il vise à apprendre aux élèves l'utilisation d'un moyen pour analyser une situation et résoudre les problèmes qui s'y trouvent, alors l'apprentissage d'un langage de haut niveau (et dans une certaine mesure son enseignement) prend un autre sens. Ce sens sera d'autant plus riche et intéressant que les langages seront capables de soutenir et de prolonger l'activité mentale de l'élève; bien choisir les outils et l'environnement de travail consiste à opter pour des solutions à la mesure de ce dont les élèves ont besoin. La programmation «ne devrait pas être négligée au profit de l'usage de logiciels-outils qui restreignent les domaines d'application et qui n'imposent pas à l'élève un effort de raisonnement comparable à la

discipline de programmation.»[1] La combinaison *ordinateur–langage de programmation* présente l'avantage de «stimuler la recherche d'une solution car elle exécute les tâches ingrates et permet la vérification des hypothèses de solution», et nous ajouterons à cela que «quand on le programme, on peut qualifier l'ordinateur *d'outil d'aide au raisonnement ou de machine à penser*.[2] Michel AUBÉ a présenté d'une manière analytique et détaillée les avantages inhérents à ce qu'il appelle «l'expérience de programmation»[3]; il les groupe en quatre classes:

• L'importance des stratégies de résolution de problèmes existe toujours, et d'autant plus que l'instrument informatique permet intrinsèquement, et pour la première fois dans une classe, certaines de ces stratégies: hiérarchisation des sous-problèmes, représentation interne, existence des variables et des cas particuliers, débogging «intelligent».

• L'environnement informatique offre «un moyen de connaissance de soi, un véritable *miroir interactif des processus de pensée*», ce qui assure le recyclage des erreurs afin de *«façonner et remodeler soi-même sa pensée!»* Plus loin, l'auteur ajoute que«chaque langage, *chaque paradigme de programmation, véhicule du même coup, par l'usage qui en est fait, un modèle concret et efficace de résolution de problèmes*».

• La programmation est *«porteuse d'une foule de métaphores* exceptionnellement puissante pour l'illustration et la compréhension de processus complexes [...] de concepts comme ceux de *feedback, procédure, récursion, représentation, héritage de propriétés*».

• En dernier lieu, Aubé mentionne que l'activité de programmation «offre un point de vue privilégié sur la façon dont s'acquièrent les connaissances»

Ailleurs Aubé ajoute que les nouvelles technologies informatiques vues à travers une lunette plus large peuvent aider à la résolution de problèmes. (Nous avons traité ailleurs de ces points, mais dans une perspective légèrement différente; le contexte dans lequel le présent document se situe ne fait qu'ajouter à cette argumentation.) Ainsi, il réclame une véritable *ergonomie, cognitive* en particulier, où les interfaces permettraient d'ajouter à notre façon de traiter les domaines de connaissances, jusqu'à maintenant campée dans le verbalisme surtout. Les interfaces influent sur notre mode sensoriel, et la réciproque devrait être exploitée davantage.

---

[1]Extrait d'un un document de Maurice DALOIS présenté au congrès de l'AQUOPS (13-14 avril 1989, Laval, Québec) et intitulé LA RÉSOLUTION DE PROBLÈME.

[2]*Ibid.*

[3]Conférence d'ouverture du Septième colloque annuel de l'AQUOPS, Laval, Québec, 13 avril 1989: LES NOUVELLES TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION ET LA RELATION PÉDAGOGIQUE.

Ensuite, Aubé énonce le besoin d'environnements semi-intelligents, comportant de façon intégrée de nombreux outils de support et «permettant à l'usager d'interroger, au gré de ses besoins, tel ou tel aspect de cet environnement, afin d'y *circuler* plus facilement et de mieux l'utiliser. [...] à la communication en langage semi-naturel, à des fonctions d'aide interactives, à des facilités d'auto-explication, à la possibilité d'interroger le système à plusieurs niveaux... [...] L'idée importante derrière ces facilités est de capitaliser sur le fait d'un usager qui est, lui, *un processeur intelligent!* [...] L'idée, c'est au fond d'optimiser la symbiose!»

Plus loin, ce sont les outils de production et d'exploration, il peut s'agir des logiciels-outils traditionnels, qui sont présentés comme d'autres éléments et dont Aubé dit qu'ils doivent être mis à la disposition des élèves pour qu'ils puissent mieux travailler à la connaissance. Et ces outils doivent en particulier permettre l'accès à des banques d'informations, elles-mêmes semi-intelligentes, de toutes les «grosseurs» et sur tous les domaines de connaissances, et qui doivent être présentables et utilisables selon des points de vue différents. Si elles ne comportent pas de fonctions aidant la recherche, alors de telles fonctions devront être intégrées dans un logiciel-outil conforme aux caractéristiques du travail cognitif.

Ces choix traduisent la conception qu'on a de l'éducation et de l'apprentissage. Se donner un environement pauvre en choisissant un langage de programmation de bas niveau, en utilisant une stratégie pédagogique unique, rigide et traditionnelle (dans le sens où on refuse les connaissances récentes) et en ne prenant en compte qu'un seul point de vue —c'est-à-dire, un seul langage ou un seul logiciel-outil— traduit une incompétence dont les victimes sont les élèves.

En conclusion:

> **L'écriture d'un programme est un choix aveugle, et non un engagement raisonnable et raisonné, s'il n'y a pas une analyse des options.**

3.3.2 L'automatisation

Si l'informatique peut être en partie définie comme le traitement automatique de l'information, il ne s'agit pas pour autant d'automatiser la résolution de problèmes, et de faire en sorte que la machine prenne la place de l'élève. La programmation, à l'aide d'un langage approprié, constitue toujours une des plus enrichissantes applications pédagogiques de l'ordinateur. Par contre, il ne serait pas réaliste non plus de rejeter systématiquement les outils autres que les langages; l'utilisation de logiciels-outils à l'intérieur d'une stratégie reposant sur une bonne analyse du problème peut quelquefois contribuer à sa solution. Il suffit de penser à certains logiciels de graphisme, de mise en

page, d'analyse statistique, de communication, de base de données, de chiffriers, de création d'interfaces-usagers, etc. Nous disons «certains», parce que tous ne sont pas de bons outils, encore moins de bons outils pédagogiques, et surtout parce que la construction même d'un outil logiciel par un langage (la programmation) est une activité encore plus valable et plus formatrice que la connaissance et l'usage d'un logiciel-outil existant (voir la section précédente).

Ainsi, l'élaboration d'une base de données en PROLOG a déjà fait l'objet d'essais fructueux, la construction d'un tableur en APL offre une solution élégante et rapide pour les calculs, un éditeur graphique en LOGO ou en Pascal présente des caractéristiques qui sont intéressantes sur le plan pédagogique, la simulation de faits, de procédés et de modèles à l'aide d'un langage orienté objets comme Smalltalk présente des défis formateurs. La combinaison d'un langage de programmation et d'un ou de plusieurs logiciels-outils peut se révéler intéressante; l'ajout direct du logicel-outil (ou d'une production intermédiaire qui en serait tirée) au langage à une étape du processus est donc une action informatico-pédagogique qu'il faut examiner avant de faire appel à un logiciel-outil seul.

Dans un même ordre d'idée, on pourrait penser à faire appel à des systèmes experts pour résoudre automatiquement les problèmes, mais ce serait, dans presque tous les cas, contraire à la mission de l'école. L'outil informatique peut faire beaucoup et rapidement, et dans tous les domaines de connaissance. Cependant, par lui-même, il ne conduit nulle part. Seul l'humain doit lui indiquer où aller; tout comme pour une automobile. Par contre, la construction d'un petit système expert et son application à une situation précise est une idée qu'il ne faut pas rejeter, puisque le système expert est un logiciel-outil. Il existe une analogie certaine entre le travail d'un expert —l'élève en est un dans son milieu— et celui accompli à travers le système expert, et c'est justement là que réside l'intérêt d'utiliser un tel système.

Le système expert (comme logiciel) traduit d'abord les processus de raisonnement dans des domaines particuliers (bien définis et spécialisés); ensuite il implante des outils généraux de représentation de la connaissance dans les disciplines (plus englobantes et complexes). Construire un système expert consiste donc à:

a) circonscrire un lieu d'analyse pour en tirer un domaine d'expertise;
b) expliquer le raisonnement par des procédures appropriées;
c) déterminer les usagers et les champs d'application;
d) définir les types de connaissances qui appartiennent au domaine, la typologie;
e) définir la ou les bases de connaissances;
f) évaluer l'ensemble du processus pendant la construction et en fin d'analyse.

Il est clair que ces étapes ne peuvent être réalisées que grâce aux personnes qui sont considérées comme des experts dans le domaine analysé: économiste, médecin, avocat, cogniticien, enseignant, mécanicien, pilote, physicien, etc. L'expert «raconte» sa connaissance des stratégies et des méthodes qu'il utilise lorsqu'il résout des problèmes; il le fait par des discussions avec d'autres personnes et à l'occasion de la mise à l'essai des diverses versions du système expert. Il valide pas à pas son propre système mental (Cf. a) en expliquant les procédures du raisonnement utilisé, qu'il doit éventuellement décrire en détail (Cf. b). Le niveau de compétence de l'utilisateur final, ainsi que la nature du projet (Cf. respectivement c et d), conduiront en continuum à la définition de la base de connaissance (Cf. e) et, si ce n'est pas fait, à la définition du moteur d'inférences ou des mécanismes de traitement de ces connaissances. Puisque le système expert comporte une fonction de traceur (le système expert peut fournir à l'usager, sur demande, ce qu'il a fait et pourquoi il l'a fait avec plus ou moins de détails), l'évaluation du travail est plus facile, et surtout plus formattrice (Cf. f).

Chacune de ces étapes (de a à f) s'applique aussi bien au processus d'élaboration du système expert qu'au fonctionnement mental de l'« humain-expert » occupé à résoudre un problème. De cette analogie, nous pouvons conclure que la construction et le bon usage d'un système expert pour résoudre des problèmes répondent aux objectifs d'ISI, et rejoignent les pratiques les plus récentes dans le domaine de l'informatique. Quant à l'enseignement intelligemment assisté par ordinateur (EIAO) — nous rejetons l'enseignement assisté par ordinateur (EAO) dans le cadre de notre réflexion pour des raisons évidentes — comme il ne concerne que de très loin ISI et la résolution de problèmes, nous nous contenterons ici de proposer diverses lectures sur le sujet.[1]

3.3.3 L'effort et la persistance

L'informatique est une science nouvelle; sa génèse est incomplète et imparfaite. Il faut donc poursuivre les essais «exploratoires» dans les pratiques didactiques. Les documents de base expliquant le programme ISI insistent sur l'autonomie des élèves dans la réalisation des projets —le leurs, de préférence— et sur le fait que le traitement doit se rapprocher de celui fait par les professionnels. De plus, le programme encourage et exige une évaluation qui favorise l'exploration du travail intellectuel qui a été bien fait et n'oblige pas à des restrictions défavorables à l'apprentissage. Finalement, la nature et l'organisation des objectifs (expliqués par les commentaires les accompagnant) reflètent l'importance d'une

---

[1] Voir, entre autres, dans la bibliographie: LECORRE, OTMAN, SMITH, et l'article de Claude COULOMBE dans Le Bus de mai 1988.

cible qui met en évidence le développement de bonnes habitudes de travail et l'acquisition de processus mentaux considérés comme fondamentaux. En particulier, les objectifs généraux 2 et 3 (précédés de l'objectif général 1) reprennent dans une certaine mesure, et chacun à sa manière, l'analogie dont il a été question dans la section précédente (3.3.2).

Si nous avons peu parlé (quantitativement) des aspects attitudinal et affectif de la résolution de problèmes dans ISI, ce n'est pas que le sujet soit secondaire, au contraire. C'est qu'il s'agit d'un domaine que nous ne connaissons que trop imparfaitement et qui est difficilement généralisable, encore plus que l'aspect cognitif de la queston. Il est aussi reconnu que l'environnement de l'école et la situation immédiate de la classe affectent différemment chaque élève et ce en des moments divers, de même que chaque enseignant ou enseignante amène une interaction unique avec chaque élève. Tout cela fait qu'il est extrêmement difficile, sinon impossible, d'aborder ici ces questions. Cependant, il nous faut souligner l'énorme complexité de ces facteurs, une fois combinés; le réalisme s'impose donc et c'est dans la satisfaction d'avoir progressé à chacune des situations spécifiques que réside le succès. L'aspect qualitatif prend alors une valeur particulièrement significative.

L'application correcte d'ISI impose une somme de travail importante, travail complexe et difficile; le premier à en profiter, et cela est d'autant plus vrai si on garde en perspective les «gains pédagogiques» faits dans le moyen et le long terme, sera l'élève. Persister dans l'effort dans des situations et des activités riches sur le plan des apprentissage est en soi un acquis majeur; on pourrait dire que si l'élève est moins prêt à occuper un emploi donné lundi prochain, il sera par contre bientôt prêt à occuper une foule d'emplois divers pour plusieurs lundi à venir, car il est mieux formé et est davantage en mesure de suivre les changements futurs. En se limitant constamment à ce qui est facile et peu exigeant, on compromet la formation générale de l'élève, dans un premier temps, et dans un second temps, tout son avenir. Il est rare que l'on se reproche d'avoir trop bien travaillé... C'est bien souvent le contraire! C'est pour cette raison qu'ISI comporte un minimum de limites externes et un maximum de contraintes internes!

3.3.4 Les autre disciplines

Les autres disciplines doivent faire l'objet d'un traitement particulier; le programme insiste sur le lien de la science informatique avec toutes les autres matières: mathématiques, sciences physiques et biologiques, musique, dessin, histoire, géographie, éducation physique, français, anglais, etc. D'abord parce que l'informatique présente une structure spécifique qui contient des éléments généraux (universels) enrichissants et nouveaux, qu'elle a des applications dans à peu près toutes les autres disciplines, et que celles-ci peuvent y trouver en contrepartie des moyens puissants. Le cadre scolaire et le régime

pédagogique obligent à une certaine économie dans ce qu'on peut enseigner et apprendre à l'école; il est important d'y rendre intéressants les objets de la connaissance. Le projet d'élèves, tel que décrit dans les documents d'ISI, favorise une dynamique motivante qu'il faut encourager. L'élève choisit le plus souvent des sujets de projets qui correspondent à des domaines appartenant à l'une des principales disciplines ou matières d'enseignement. La résolution des problèmes posés par ces projets passe par des connaissances appartenant à diverses disciplines et fait souvent appel à diverses personnes qui interviennent à l'intérieur de l'école, ainsi qu'à son extérieur.

Les élèves et les enseignants risquent donc d'être confrontés à de nouvelles difficultés: autres champs disciplinaires que ceux enseignés, approches pédagogiques différentes, nouveaux paradigmes de représentation des connaissances et compréhensions différentes de ces éléments, cadre quotidien de travail propre à l'enseignant, ou encore à l'école, incompétence d'un intervenant dans tel ou tel domaine, etc. Ces remarqes ne font que souligner l'importance qu'il faut accorder aux autres disciplines dans la résolution de problèmes. ISI est un programme particulièrement bien adapté à la pluridisciplinarité et à la transdisciplinarité. Ce sont les intervenants dans les classes qui sont les mieux placés pour s'occuper adéquatement de ce problème; eux seuls en connaissent véritablement la nature et pourront éventuellement en trouver la solution.

3.3.5 L'avenir

Que nous réserve l'avenir? Ou plus exactement, comment peut-on entrevoir l'avenir? La question est en apparence simple, la réponse l'est moins. Entre les objectifs poursuivis et l'atteinte de ceux-ci, il y a une différence fondamentale, différence portant sur le sens (l'objectif est un voeu, alors que son atteinte est la vérification d'une performance portant sur l'observable prescrit par la formulation de l'objectif), et aussi sur l'espace–temps (le voeu existe par l'entremise de la connaissance acquise, alors que sa réalisation s'inscrit dans le temps et dans un environnement); entre les objets et les objectifs, il y a aussi une différence (les objets, eux, ont de la substance). De même, entre le contenu d'un programme d'études et son application, il y a une marge (on ne peut imputer des impacts à un document-programme, quand c'est son enseignement qui est en cause, et inversement). Ces vérités élémentaires sont souvent oubliées; quelquefois, elles servent de prétextes à des commentaires qui conduisent irrémédiablement dans une ruelle sans issue.

La Connaissance ultime présente un cas tout à fait unique et curieux; on la cherche sans cesse, mais son atteinte constituerait une sorte de dilemme antinomique. Que resterait-il à faire si nous en arrivions à tout connaître en trouvant une solution à tous les problèmes possibles? L'école n'aurait plus de raison d'être, nous n'aurions plus besoin de penser, il

n'y aurait plus d'élèves, ni de maîtres, les discussions seraient alors réellement inutiles; c'est «l'humanitude», au sens que lui donne Albert JACQUARD, qui disparaîtrait. Les activités principales et élémentaires de l'homme sont donc un motif pour vivre en apprenant. Quand nous cherchons une solution à un problème précis, nous agissons comme si nous recherchions la solution terminale à tous nos maux, mais quelque part reste le fait que nous voulons autre chose ou que ceci est une impossibilité —du moins dans un futur pas trop éloigné! La connaissance recherchée par et dans ISI est multidimensionnelle, parce qu'elle poursuit des trajectoires qui s'inscrivent dans des axes différents. Les objets d'ISI appartiennent d'abord au domaine de la science informatique; la lecture du programme ISI indique que ces objets sont de divers ordres: social, cognitif, informatique, disciplinaire (les matières enseignées), matériel, logiciel, scolaire, méthodologique, attitudinal, etc. et dans certains de ces regroupements résident d'autres catégories. Ainsi, dans le cognitif, il y a des apprentissages dont le rayonnement déborde nettement l'observable et dont on ne peut déterminer à quels domaines ils touchent ni en mesurer les effets. Il en est de même des attitudes: il est notable qu'ISI bien enseigné favorise «une prise en main» par les élèves de leur fonctionnement et la valorisation personnelle qui en découle a des effets multiples, effets qui ne sont pas mesurables en termes de «notes qui comptent sur le bulletin»!

Il est donc important de percevoir correctement le but du programme ISI et de ne pas l'appliquer d'une façon qui seraient contradictoires, en soi ou dans son résultat. On ne peut honnêtement mener des actions pédagogiques qui insistent sur le cheminement autonome et personnel des élèves (donc sur leur formation) et s'attendre à ce que tous soient à la page 237 du manuel de base le même 24 avril 19...., ou encore faire reposer toute l'évaluation sur des notes tirées d'examens uniformes. On veut former des têtes bien faites, mais, il faut accepter que ces têtes soient différentes de nos têtes.

Nous avons souvent soulevé l'importance de l'environnement de travail pour les élèves qui sont inscrits à ISI ou à des programmes analogues. Les nouvelles technologies informatiques (NTI) offrent des pistes intéressantes, du moins, elles sont incontournables.[1] Ces NTI doivent aider au travail intellectuel des élèves et permettre de mieux faire ce qui est actuellement fait à l'école, et aussi de faire différemment et de faire de nouvelles choses. Il faudra donc se pencher sérieusement sur les ordinateurs mis à la disposition des élèves d'ISI de même que sur les logiciels qui doivent être «sur mesure» pour la résolution de

[1]L'apport des nouvelles technologies dans le domaine de la connaissance et de l'éducation fait l'objet d'une réflexion par le groupe REPARTIR. La publication d'un document faisant état des discussions et des conclusions auxquelles la groupe en est arrivé devrait paraître bientôt, si ce n'est déjà fait.

problèmes. Il faudra être capables de planifier en entrevoyant demain, et non pas en regardant vers hier à travers le chas étroit d'une aiguille.[1] Nous formons des jeunes pour le futur (le leur) et non pour le passé; il est conséquemment nécessaire de leur fournir un cadre de formation adapté aux besoins et aux nouveaux moyens de travail que sont les NTI.

Ces environnements matériels–logiciels devront être supportés par d'autres matériels didactiques capables de compléter l'enseignement et l'apprentissage de la science informatique; la didactique est en construction dans ce secteur.[2] Il faut appuyer par la recherche et le développement non seulement la définition d'une didactique de la science informatique, mais aussi tout le secteur complémentaire des applications pédagogiques de l'ordinateur (APO). Ainsi, l'enseignant et l'enseignante ont des «regards» différents de ceux des élèves, ce qui implique des perceptions distinctes de la réalité, lesquelles influent à leur tour sur l'apprentissage. Nos essais dans ces domaines sont plus empiriques (nous n'avions pas le choix) que systématiques; plus nous avancerons dans le travail d'implantation, plus les risques seront grands si les fondements didactiques ne sont pas mieux étudiés, si l'on ne se penche pas sur la trame entre l'informatique, les processus mentaux et la résolution de problèmes, et sur la façon dont cette trame apparaît chez les élèves. Nous avons maintenant le choix de faire ce qui doit être fait.

---

[1] Le parc des ordinateurs affectés à ISI est le plus ancien et souvent le plus désuet du système scolaire; c'est également le plus utilisé et le plus usé. Les logiciels utilisés dans ISI sont également un des maillons les plus faible de l'utilisation de la micro-informatique à des fins pédagogiques. ISI constitue pourtant une des opérations les plus importantes...à tous points de vue.

[2] Les documents publiés dans le cadre de la coopération franco-québécoise en sont un indice. Nous recommandons particulièrement la lecture du document publié par Enseignement Publique et Informatique (EPI) et des Dossiers pédagogiques nos 10, 14 et 15 (MÉQ-Québec / MÉN-France).

IV

CONCLUSION

4. CONCLUSION

Le sujet de la résolution de problèmes est difficile et complexe; il est cependant trop important pour que nous l'évitions dans nos classes d'enseignement de la science informatique. Prétendre que nous en savons beaucoup dans ce domaine serait pour le moins inexact et prétentieux; dire que nous pouvons commencer à «faire des choses» qui tiennent compte de nos connaissances actuelles dans le domaine est tout à fait réaliste, et souhaitable! Il faut prévoir que le cheminement sera hardu, et que ceux et celles qui s'y engageront devront être des courageux, des convaincus et même des entêtés, qui seront vus comme des marginaux.

Le système scolaire est-il prêt pour un enseignement de ce type? Est-il seulement prêt à considérer que l'on puisse faire ainsi, et à sortir du passéisme qui le guide trop souvent dans ses choix? Opter d'éduquer en formant les jeunes à la liberté représente un risque pour ceux et celles qui auront fait ce choix: celui de les isoler. Par contre, ils et elles connaîtront la satisfaction d'accomplir un travail dont les résultats sont plus formateurs pour les jeunes, qui ont le droit de bien apprendre.

BIBLIOGRAPHIE

ARCOUET, Michel, BÉLISLE, Laurent, (ORIOL, Jean-Claude), *Projets et programmes: Introduction à la science de l'informatique*, Montréal, Éditions du renouveau pédagogique inc. (erpi), 1986, 272 p.

ARSAC, Jacques, *Les machines à penser: Des ordinateurs et des hommes*, Paris, Éditions du Seuil, 1988, 237 p.

ASSOCIATION QUÉBÉCOISE DES UTILISATEURS DE L'ORDINATEUR AU PRIMAIRE ET AU SECONDAIRE (AQUOPS), *Le Bus*, Bulletin publié par l'AQUOPS, 600, rue Fullum, 6ième étage, Montréal. Québec, H2K 4L1. Tous les numéros.

AUBÉ, Michel, *Les nouvelles technologies de l'information et la relation pédagogique*, Conférence d'ouverture du Septième colloque annuel de l'AQUOPS, Laval (Québec), le 13 avril 1989, non publié.

BARR, Avron, COHEN, Paul, FEIGENBAUM, Edward, ed., *The Handbook of Artificial Intelligence*, vol. 1, 2 et 3, Los Altos, William Kauffman, 1981-1982.

BESTOUGEFF, Hélène, FARGETTE, Jean-Pierre, *Enseignement et ordinateur*, Paris, CÉDIC / Nathan, 1982, 185 p.

BOBROW, Daniel, COLLINS, Allan, éd., *Representation and Understanding: Studies in Cognitive Science*, New York, Academic Press, 1975.

BOCHENSKI, Innocenty, *A History of formal Logic*, 2ième édition, New York, Chelsea Publishing, 1970.

BONNET, Alain, *L'intelligence artificielle: Promesses et réalités*, Paris, InterÉditions, 1984.

BRUNER, Jerome, GOODNOW, Jacqueline, AUSTIN, George, *A Study of Thinking*, New York, John Wiley & Sons, 1956.

BRUNER, Jerome, *The Process of Education*, Cambridge (Mass.), Harvard Universiy Press, 1960.

CARNAP, Rudolf, *Introduction to Symbolic Logic and its Application*, New York, Dover Publications Inc., 1958, 241 p.

CHOMSKY, Noam, PIAGET, Jean, *Théorie du langage: Théories de l'apprentissage*, (Débat organisé et recueilli par Massimo Piattelli-Patmarini, traduit par Y. Norzet), Paris, Éditions du Seuil, 1979.

COULOMBE, Claude, YOUNG, Richard, *La programmation structurée en BASIC*, Montréal, Turgeon, 1986, 408 p.

D'HAINAUT, Louis, *Des fins aux objectifs*, dans Éducation 2000, Bruxelles, Labor, 1983.

ENSEIGNEMENT PUBLIQUE ET INFORMATIQUE (E.P.I.), *Colloque francophone sur la didactique de l'informatique, Université René Descartes, Paris, 1, 2 et 3 septembre 1988*, Paris, E.P.I., 1989, 312 p.

FEIGENBAUM, Edward A., FELDMAN, Julian, ed., *Computer and Thought*, New York, McGraw-Hill, 1963.

FEIGENBAUM, Edward A., McCORDUCK, Pamela, *The Fifth Generation*, Toronto, Addison-Wesley, 1983.

GANE, Chris, SARSON, Trish, *Structured Systems Analysis*, Englewood Cliffs (NJ), Prentice-Hall, 1979.

GARDNER, Howard, *The Mind's New Science: A History of the Cognitive Revolution*, New York, Basic Books, 1985.

GOUVERNEMENT DU QUÉBEC, Conseil supérieur de l'Éducation, *Rapport annuel 1987-1988 sur l'état et les besoins de l'éducation. Le rapport Parent, vingt-cinq ans après*, Québec, 1988, 151 p.

GOUVERNEMENT DU QUÉBEC, MÉQ, Direction générale de l'évaluation et des ressources didactiques, ***BIP-BIP***, Bulletin publié par la Direction des ressources didactiques, 600, rue Fullum, 8ième étage, Montréal, Québec, H2K 4L1. Tous les numéros.

GOUVERNEMENT DU QUÉBEC, MÉQ, Direction générale des programmes, *Document d'information, Introduction à la science de l'informatique (ISI 111-434, 111-534), L'évaluation*, doc. no. 16-0081-04, 1987, 54p.

GOUVERNEMENT DU QUÉBEC, MÉQ, Direction générale des programmes, *Document d'information, Introduction à la science de l'informatique (ISI 111-434, 111-534), Projet d'élèves*, doc. no. 16-0081-03, 1988, 47 p.

GOUVERNEMENT DU QUÉBEC, MÉQ, Direction générale des programmes, *Guide pédagogique, Primaire, Mathématique, Fascicule K, Résolution de problèmes*, doc. no. 16-2300-11, 1988, 94 p.

GOUVERNEMENT DU QUÉBEC, MÉQ, Direction générale des programmes, *Guide pédagogique, Primaire, Mathématique, Fascicule L, Planification de situations d'apprentissage*, doc. no. 16-2300-12, 1988, 130 p.

GOUVERNEMENT DU QUÉBEC, MÉQ, Direction générale des programmes, *Guide pédagogique, Secondaire, Informatique, Introduction à la science de l'informatique*, doc. no. 16-0081-01, 1984, 36 p.

GOUVERNEMENT DU QUÉBEC, MÉQ, Direction générale des programmes, *Programme d'études, Secondaire, Informatique, Introduction à la science de l'informatique*, doc. no. 16-0081, 1982, 71 p.

HADAMARD, Jacques, *The Psychology of Invention in the Mathematical Field*, Princeton, Princeton University Press, 1945, réédité chez Dover Publications Inc. (New York).

HOFSTADTER, Douglas, DENNETT, Daniel, *Vues de l'esprit*, traduit de l'anglais, Paris, InterÉditions, 1987, 512 p. (Original: The Mind's I, New York, Basic Books, 1981.)

HOFSTADTER, Douglas, *Gödel, Escher, Bach: Les brins d'une guirlande éternelle*, traduit de l'anglais, Paris, InterÉditions, 1985, 900 p. (Original: Gödel, Escher, Bach: An Eternal Golden Braid, New York, Basic Books, 1979.)

JACQUARD, Albert, *L'héritage de la liberté: de l'animalité à l'humanitude*, Paris, Seuil, 1986, 209 p.

KELLY, George, *Psychology of Personnal Constructs*, New York, WW Norton, 1955.

KLEINMUNTZ, B., éd., *Problem Solving*, New York, John Wiley & Sons, 1966.

LANGER, Susanne, K, *Introduction to Symbolic Logic*, New York, Dover Publications Inc., Deuxième édition, 1953, 368 p.

LAURIÈRE, Jean-Louis, *Intelligence artificielle: Résolution de problèmes par l'Homme et la machine*, Paris, Eyrolles, 1987, 473 p.

LECORRE, Y, SCHWARTZ, J., *Logiciels et didacticiels pour un environnement éducatif multimédia, Conférence internationale sur l'éducation et les nouvelles technologies*, document polycopié, OCDE, 1984.

LECORRE, Y., éd., *Actes du FORUM EAO 84*, ADIRA, 1984.

LEVÊVRE, Jean-Pierre, *Guide pratique de l'enseignement assisté par ordinateur*, Paris, CÉDIC / Nathan, 1984.

McMULLAN, W.E., STOCKING, J.R. « *Conceptualizing in Three Dimensions* », The Journal of Creative Behavior, vol. 12, pp. 161-167.

MICHALSKI, Rysz, CARBONELL, Jaime, MITCHELL, Tom, ed., *Machine Learning*, Palo Alto, Tioga Press, 1983.

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION (QUÉBEC), MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE (FRANCE), *Comment enseigner l'informatique? Regards sur une étape de la coopération franco-québécoise en éducation*, Centre International d'Études Pédagogiques, Sèvres (FRANCE), Dossier pédagogique no. 15, 1988, 116 p.

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION (QUÉBEC), MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE (FRANCE), *L'Enseignement de l'informatique dans l'enseignement du second degré: Actes du séminaire restreint franco-québécois de Sèvres, 13 – 15 juin 1984*, Centre International d'Études Pédagogiques, Sèvres (FRANCE), Dossier pédagogique no. 10, 1985, 145 p.

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION (QUÉBEC), MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE (FRANCE), *Pratiques éducatives et informatique: Actes du séminaire restreint franco-québécois de Sèvres, 11 et 12 juin 1987*, Centre International d'Études Pédagogiques, Sèvres (FRANCE), Dossier pédagogique no. 14, 1988, 76 p.

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE (FRANCE), *Informatique et enseignement: Actes du colloque national, 21 et 22 novembre 1983, Paris*, Paris, CNDP / La documentation française, 1984, 260 p.

MINSKY, Marvin, *The Society of Mind*, New York, Simon and Schuster, 1985, 339 p.

MUCCHIELLI, Alex, *Enseignement par ordinateur*, Paris, P.U.F., 1987, 121 p.

NEWELL, Allen, SIMON, Herbert, *Human Problem Solving*, Englewood Cliffs (NJ), Prentice-Hall, 1972.

NILSSON, N.J., *Principles of AI*, Palo Alto, Tioga Publishing Co., 1980.

NILSSON, N.J., *Problem Solving Method in AI*, New York, McGraw-Hill, 1971.

OTMAN, Gabriel, *Aujourd'hui l'E.A.O., demain l'E.I.A.O.*, Paris, CREDIF / Didier, 1988, 205 p.

PETITGUILLAUME, André, TAURISSON, Alain, *À vous de jouer: Introduction à la science de l'informatique*, Outremont, Modulo Éditeurs, 1983, 223 p.

POLYA, George, *Comment poser et résoudre un problème*, traduit de l'anglais, Paris, Dunod, 1965.

SCHANK, Roger C., CHILDERS, Peter, G., *The Cognitive Computer*, Don Mills (Ont.), Addison-Wesley, 1984, 268 p.

SIEGEL, Martin A., DAVIS, Dennis M., *Understanding Computer Based Education*, New York, Random House, 1986, 236 p.

SMITH, Peter, R., éd., *Advances in Computer Assisted Learning, (Selected readings from the CAL 85 Symposium)*, Toronto, Pergamon Press, 1985.

SMITH, Peter, R., éd., *Symposium on Computer Assisted Learning, (Selected readings from the CAL 81 Symposium), 1981, University of Leeds*, Toronto, Pergamon Press, 1981, 182 p. (Également publié comme vol. 6, no. 1, du journal « Computer and Education ».)

TURKLE, Sherry, *Les enfants de l'ordinateur*, traduit de l'anglais, Paris, Denoel, 1986.

WINSTON, Patrick, H., *Artificial Intelligence*, Toronto, Addison-Wesley, 1977.

YAZDANI, M., LAWLER, R.W., éd., Instructional Science, numéro spécial, Amsterdam, Elsevier, 1985.

Gouvernement du Québec
Ministère
de l'Éducation

15-0081-05
8090-603